

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 0 520 774 B1**

(12)

**EUROPEAN PATENT SPECIFICATION**

(45) Date of publication and mention  
of the grant of the patent:  
**12.08.1998 Bulletin 1998/33**

(51) Int Cl. 6: **H04N 1/40**

(21) Application number: **92305808.5**

(22) Date of filing: **24.06.1992**

**(54) Method and apparatus for the reduction of memory space required for a digital halftone system**

Verfahren und Gerät zur Reduktion des benötigten Speicherumfangs in einem digitalen  
Halbtonrasterungssystem

Procédé et appareil pour réduire l'étendue de mémoire nécessaire pour un système à demi-teintes

(84) Designated Contracting States:  
**DE FR IT NL SE**

• **Gosling, James**  
**Mountain View, California 94043 (US)**

(30) Priority: **26.06.1991 US 721138**

(74) Representative: **Wombwell, Francis**

(43) Date of publication of application:  
**30.12.1992 Bulletin 1992/53**

**Potts, Kerr & Co.**  
**15, Hamilton Square**  
**Birkenhead Merseyside L41 6BR (GB)**

(73) Proprietor: **SUN MICROSYSTEMS, INC.**  
**Mountain View, CA 94043 (US)**

(56) References cited:  
**EP-A- 0 293 214** **EP-A- 0 427 380**  
**DE-A- 3 320 691** **GB-A- 2 098 022**  
**GB-A- 2 157 119** **US-A- 4 185 304**

(72) Inventors:  
• **Chang, Sheue Ling**  
**San Jose, California 95129 (US)**

**EP 0 520 774 B1**

Note: Within nine months from the publication of the mention of the grant of the European patent, any person may give notice to the European Patent Office of opposition to the European patent granted. Notice of opposition shall be filed in a written reasoned statement. It shall not be deemed to have been filed until the opposition fee has been paid. (Art. 99(1) European Patent Convention).

**Description****1. FIELD OF THE INVENTION:**

The method and apparatus of the present invention relates to the field of digital halftoning. More particularly, the present invention relates to the storage of halftone cells in an optimum manner to save memory space while maintaining performance.

**2. ART BACKGROUND:**

The technique of halftoning is widely used in the printing industry for printing continuous tones of images, such as photographs, in a discrete form using a limited number of colors. For example, a monochrome image, such as photographs which appear in newspapers, are represented using two colors, black and white, and are produced typically by generating black dots on white paper. Color images, such as those found in magazines or newspapers, are represented by a small limited number of colors. Halftoning takes advantage of spatial integration in order to generate the image. Spatial integration is performed by the eye when viewing a small area from a large viewing distance wherein the eye averages fine detail within the small area and records only the overall intensity and color of the area.

By grouping multiple display elements into small grids or matrices, called halftone grids, the spatial resolution of the display output is decreased and the overall intensity levels or gray levels representable in an area is increased. For example, by grouping four display elements into a 2x2 matrix, the spatial resolution of the display output is decreased by half, but the amount of gray levels representable are increased to five.

The halftone grid is defined by mapping a uniform grid of small matrices, referred to as halftone cells, over the display device output pixel array (hereinafter referred to as the display space). The halftone grid has a frequency (the number of halftone cells per unit measure in the display space) and an angle (the orientation of the grid relative to the display space coordinate system). Each display element (referred to as a "pixel") of the display space corresponds to one element in the halftone cell. An area of the display screen can be made to approximate a shade of gray by turning a certain amount of the pixels within the area on (e.g. "white") or off (e.g. "black") in a predetermined pattern and sequence. In a display device such as a printer, the background is initialized to be white reflecting the fact that the image will be subsequently output to be printed on white paper and the pixels actuated are output as black "dots" reflecting the ink printed on the white paper. In a display device such as a computer graphic display device, the background is typically initialized to a black or dark color and the pixels actuated are "turned on" and appear as a white dot or light color on the screen. For purposes of explanation, the following description will

refer to actuated pixels as being white. However, it is obvious to one skilled in the art that depending upon the system and output device, the actuated pixels may be other predetermined colors. In particular, in a corresponding printed image, the actuated pixels would be black.

Numerically, the gray level represented within a cell is the ratio of the number of pixels that are white to the total number of pixels in that cell. As a cell's gray value varies from black to white, increasingly more pixels in each cell change from black to white in a defined sequence. The order in which pixels change from black to white for increasing gray levels is specified by a user with a mathematical function called a dot or spot function. The spot function is used to calculate a plurality of threshold values, one value associated with each display element in the halftone cell. The differing magnitudes of the threshold values dictate the sequence in which pixels change from black to white for increasing gray level, that is, the threshold values are compared to the value representative of the desired intensity level. If the threshold value associated with a particular display pixel is greater than the desired intensity level of an area, the pixel is actuated. For further information on the halftoning process, see, Foley, et al., Computer Graphics. Principles and Practice. Second Edition, pp 569-573 (Addison - Wesley Publishing 1990); Ulichney, Digital Halftoning, (MIT Press 1987); Adobe Systems, Inc., POSTSCRIPT Language Reference Manual, pp 84-87 (Addison - Wesley Publishing 1986).

Typically, one binary representation of the halftone cell for each different intensity level is calculated according to the user specified spot function, halftone frequency and halftone angle. This binary representation is called a gray pattern. A collection of gray patterns for all possible intensity levels are precomputed and stored in memory. When generating a halftone image, the gray pattern for a particular intensity is then retrieved from memory as needed to determine the pixels to be actuated. The more pixels which compose a halftone cell, the greater the number of different intensities that can be represented and the greater the amount of memory required to store the gray patterns.

The threshold values generated by the spot function are dependent upon the location of the pixels in the halftone cell relative to the center of the halftone cell. If each halftone cell is consistently aligned with the pixels in the display space, a small halftone cell can be used to replicate across the entire display space and a single threshold array can be employed to determine the order of the pixels to be actuated to render an entire image. However, typically the halftone grids do not align exactly with the display space grid. It is a complex process to consistently align each halftone cell with the display space grid because the grid size of the halftone cell is normally not the same grid size as the display space and the matrix of halftone cells is typically at a different angle of orientation from the display space grid. If a

threshold value is generated for each pixel of the display space, an infinite amount of different halftone cells would have to be computed to address each possible configuration of pixel locations within a cell.

The problem of aligning the halftone cell to the display space is illustrated by **Figure 1**. The halftone cells are mapped at an angle to the matrix of pixels of the display space. Although one vertex of the cell 50 maps directly to a pixel location (in Figure 1 pixel locations occur at the intersection of the grid lines), the remaining vertices 30, 40, 60 do not. Similarly, the adjoining halftone cell, having vertices 10, 20, 30, 40, does not align precisely with the pixel matrix. Because the relative pixel locations within each halftone cell vary from halftone cell to halftone cell, the threshold values generated for each pixel location would be different in each halftone cell.

To overcome this problem, a technique has been devised to align the halftone cells with the pixel matrix with the minimal of error wherein the vertices of the halftone cell are rounded off to the closest pixel. This may be visualized by referring to **Figure 2a**. Utilizing the length of one side of a cell  $R_d$  which directly corresponds to the user specified halftone frequency and the desired halftone cell angle with respect to the coordinate space  $\theta_d$ , the revised cell frequency value is determined according to the following equations:

$$a = \text{INT}[R_d \cos(\theta_d)]$$

$$b = \text{INT}[R_d \sin(\theta_d)]$$

where  $R_d$  is the desired length of a side of the halftone cell,  $\theta_d$  represents the desired angle of the halftone cell with respect to the display space, INT represents an integer rounding function which rounds the vertex to the closest pixel. The "a" value represents the incremental integer amount (in units such as pixels) from one vertex to the adjacent vertex along a first axis (e.g., the x axis) and "b" represents the incremental integer amount along the second axis (e.g., the y axis). Thus, the actual length of the halftone cell ( $R_a$ ) is equal to  $\text{SQRT}(a^2 + b^2)$  and the actual angle is  $\theta_a$ , where  $\theta_a$  is equal to  $\text{ARCTAN}(b/a)$  and  $\text{SQRT}$  represents a square root function and  $\text{ARCTAN}$  represents an arctangent function. Hereinafter  $\theta_d$  is referred to as the "desired halftone angle" and  $\theta_a$  is referred to as the "actual halftone angle".  $R_d$  is referred to as the "desired cell frequency", and  $R_a$  is the "actual cell frequency." Using the actual halftone angle  $\theta_a$ , the actual cell frequency  $R_a$ , and the values a and b, the adjusted halftone cells can be constructed. The adjusted halftone cells can be constructed, as illustrated in **Figure 2b**, across the display space to complete the mapping of halftone cells to the matrix of display space. The actual halftone cells constructed are of equal size and align with the pixels of the display space whereby one single threshold matrix is applicable to all

halftone cells.

The drawback to this technique is the error introduced by adjusting the halftone cell. The angle of the actual halftone cell to the display coordinate space ( $\theta_a$ ) and the length of a side of the actual halftone cell ( $R_a$ ) vary slightly from the desired angle and frequency ( $\theta_d$ ) and  $R_d$ ) introducing a small error.

The error between the actual frequency  $R_a$ , the actual angle  $\theta_a$  and the desired frequency  $R_d$  and the desired angle  $\theta_d$  can be decreased by constructing "supercells," as illustrated in **Figure 3**, which are composed of a plurality of halftone cells. The angle of the supercell to display space and actual frequency of the halftone cell can be adjusted to be quite close to the user the desired angle and frequency by increasing the number of halftone cells contained in each supercell. The larger the supercell, the smaller the adjustment error, but the greater the size of memory required to store the supercell containing the threshold values. Thus, there is a tradeoff between precision, i.e. the size of the adjustment error, and the amount of memory required. Typically, the tradeoff is resolved by the user setting a predetermined tolerance and generating a supercell that is within the tolerance. For example, if the user specified angle is 15° and the tolerance is set to be .01°, a supercell would be generated that has an angle within the range of 14.99° to 15.01°. Once the size of the halftone cell is determined, the cells are "stitched" together across the display space.

The amount of memory required to share the threshold array is very important with respect to the cost and performance of the system. Depending upon the tolerance of angle and frequency specified by a user, the storage of information can take up a lot of memory. In addition, typical storage techniques fluctuate according to the angle of the halftone cell relative to the display space.

EP-A2-0 427 380 (Adobe) discloses a method for producing halftone images using supertiles including more than one halftone cell, which can be reshaped to use only whole pixels to form a "Utah" tile comprising two squares generally resembling the US State of Utah.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

It is therefore an aim of the present invention to provide a method and apparatus for storing halftone cells in the minimum amount of memory space.

It is a further aim of the present invention to provide a method and apparatus for storing halftone cells for rapid and easy retrieval utilizing the minimum amount of memory space.

According to the present invention there is provided a method as set forth in claim 1.

Also according to the present invention there is provided an apparatus as set forth in claim 14.

In the preferred method and apparatus, an image generation apparatus is provided in which a digital half-

tone cell of threshold values is generated and broken down into a plurality of tiles determined from the locations of the four corners of the halftone cell. The tiles when put together form a bounding box around the halftone cell. These tiles are arranged into a threshold array of threshold values wherein the width of the array is equal to the number of threshold values in a sequence of threshold values across a row of contiguous tiles and the height of the array is equal to the greatest common denominator of the x axis increment and y axis increment between vertices of the halftone cell.

The threshold array is stored in memory for subsequent reference during the halftoning process. Through the method and apparatus of the present invention the amount of memory required to store threshold values is reduced substantially while the speed and ease of accessing the threshold values during the halftone process is maintained.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The objects, features and advantages of the present invention will become apparent from the following description of the invention in which:

**FIGURE 1** illustrates four adjacent halftone cells.

**FIGURES 2a and 2b** illustrate the adjustment of the halftone cell to conform to the display space grid.

**FIGURE 3** illustrates a halftone "supercell" composed of a multiple of adjacent halftone cells.

**FIGURE 4** is an illustrative computer system utilized in the system of the present invention.

**FIGURE 5a** illustrates a bounding box generated around the the halftone cell and

**FIGURE 5b** illustrates the tiles generated in the preferred embodiment of the present invention.

**FIGURES 6a and 6b** are flowcharts describing a preferred embodiment of the method of the present invention.

**FIGURES 7a and 7b** illustrate the generation of tile in the preferred embodiment of the present invention.

**FIGURES 8 and 8b** illustrate the utilization of pointers in the preferred embodiment of the present invention.

**FIGURES 9a and 9b** illustrate the tiling concept utilized in the preferred embodiment of the present invention.

**FIGURES 10a, 10b, 10c, 10d and 10e** illustrate the procedure of "unwrapping" the tiles employed in the preferred embodiment of the present invention.

**FIGURE 11** illustrates the mapping of the threshold array to the display space in the preferred embodiment of the present invention.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

##### Notation And Nomenclature

The detailed descriptions which follow are present-

ed largely in terms of algorithms and symbolic representations of operations on data bits within a computer memory. These algorithmic descriptions and representations are the means used by those skilled in the data processing arts to most effectively convey the substance of their work to others skilled in the art.

An algorithm is here, and generally, conceived to be a self-consistent sequence of steps leading to a desired result. These steps are those requiring physical manipulations of physical quantities. Usually, though not necessarily, these quantities take the form of electrical or magnetic signals capable of being stored, transferred, combined, compared, and otherwise manipulated. It proves convenient at times, principally for reasons of common usage, to refer to these signals as bits, values, elements, symbols, characters, terms, numbers, or the like. It should be borne in mind, however, that all of these and similar terms are to be associated with the appropriate physical quantities and are merely convenient labels applied to these quantities.

Further, the manipulations performed are often referred to in terms, such as adding or comparing, which are commonly associated with mental operations performed by a human operator. No such capability of a human operator is necessary, or desirable in most cases, in any of the operations described herein which form part of the present invention; the operations are machine operations. Useful machines for performing the operations of the present invention include general purpose digital computers or other similar devices. In all cases there should be borne in mind the distinction between the method operations in operating a computer and the method of computation itself. The present invention relates to method steps for operating a computer in processing electrical or other (e.g., mechanical, chemical) physical signals to generate other desired physical signals.

The present invention also relates to apparatus for performing these operations. This apparatus may be specially constructed for the required purposes or it may comprise a general purpose computer as selectively activated or reconfigured by a computer program stored in the computer. The algorithms presented herein are not inherently related to a particular computer or other apparatus. In particular, various general purpose machines may be used with programs written in accordance with the teachings herein, or it may prove more convenient to construct more specialized apparatus to perform the required method steps. The required structure for a variety of these machines will appear from the description given below.

##### General System Configuration

**Figure 4** shows a typical computer-based system for rendering digital halftone images according to the present invention. Shown there is a computer 101 which comprises three major components. The first of these is

the input/output (I/O) circuit 102 which is used to communicate information in appropriately structured form to and from the other parts of the computer 101. Also shown as a part of computer 101 is the central processing unit (CPU) 103 and memory 104. These latter two elements are those typically found in most general purpose computers and almost all special purpose computers. In fact, the several elements contained within computer 101 are intended to be representative of this broad category of data processors. Particular examples of suitable data processors to fill the role of computer 101 include machines manufactured by Sun Microsystems, Inc., Mountain View, California. Other computers having like capabilities may of course be adapted in a straightforward manner to perform the functions described below.

Also shown in **Figure 4** is an input device 105, shown in typical embodiment as a keyboard. It should be understood, however, that the input device may actually be a card reader, magnetic or paper tape reader, or other well-known input device (including, of course, another computer). A mass memory device 106 is coupled to the I/O circuit 102 and provides additional storage capability for the computer 101. The mass memory may include other programs and the like and may take the form of a magnetic or paper tape reader or other well known device. It will be appreciated that the data retained within mass memory 106, may, in appropriate cases, be incorporated in standard fashion into computer 101 as part of memory 104. A cursor control 108 is used to select command modes and edit the input data, and in general provides a more convenient means to input information into the system.

In addition, a display monitor 107 is illustrated which is used to display messages or other communications to the user. Such a display monitor may take the form of any of several well-known varieties of CRT displays. Preferably, the display monitor 107 may also display the graphic images, i.e., digital halftone images rendered according to the process of the present invention. The raster display monitor is composed of a matrix of display elements, referred to as pixels, which are actuated or "turned on" in a predetermined manner to form an image. The image data representative of the image to be displayed is first written to the frame buffer 110. The image data identifies the color, intensity and location of each display element to be actuated. A display controller 109 reads the image data from the frame buffer and actuates the pixels to generate the image.

#### Process Description

A preferred embodiment of the digital halftone process of the present invention will be discussed in reference to the flow charts of **Figures 6a** and **6b**. At block 200 the user specifies the frequency of the halftone cell to be generated, the angle of the halftone cell is to be oriented with respect to the display space grid and a tol-

erance that the angle can vary within and still be within limits. For example, the user may specify a halftone frequency of sixty halftone cells per inch at an angle of 15° and a tolerance of .01 degrees. For example, referring

5 to **Figure 2a**, the desired halftone cell has vertices or end points 30, 40, 50 and 60. At block 210 of **Figure 6a**, a halftone cell adjusted to the display space grid is generated. The adjusted halftone cell has end points 80, 90, 50 and 70. The adjusted halftone cell end points are de-

10 termined using the following equations:

$$a = \text{INT}[R_d \cos(\theta_d)]$$

15  $b = \text{INT}[R_d \sin(\theta_d)]$

Where  $R_d$  is the desired length of the side of the halftone cell,  $\theta_d$  represents the desired angle of the halftone cell 20 with respect to the display space and INT represents an integer rounding function which rounds the value to the closest integer.

The "a" value provides the incremental integer amount in units of the display space (e.g. pixels) from 25 one vertex of the halftone cell, for example vertex 50, to the adjacent vertex, vertex 70, along a first axis (e.g., the x axis) and "b" represents the incremental integer amount along the second axis (e.g., the y axis). To determine the next vertex, vertex 80, of the cell in the diagonal direction relative to the vertex determined, the value of a is used as the incremental integer amount 30 along the second axis and the value of b is used as the incremental integer amount along the first axis. Similarly, the next vertex, vertex 90, is determined using the 35 value of a as the incremental amount along the first axis and the value of b along the second axis.

As illustrated in **Figure 5a**, this process may be continued to determine all adjacent vertices, 50, 70, 80, 90, and bounding boxes. The bounding box is a square oriented on the x and y axes which encompasses the adjusted halftone cell with edges 330, 335, 340, and 345. Each side of the bounding box intersects a vertex of the halftone cell and the axis that each side of the bounding box is oriented on is the major axis of the corresponding 45 side of the halftone cell. The length of each edge is the size of a+b. As will be explained, the bounding box is mapped to the display space. Preferably, to save computational time and expense, the vertices for a single bounding box are determined. The same bounding box 50 can then be applied to the entire display space thereby saving memory and simplifying the rendering process. Thus it is preferred that a single cell is constructed and the vertices determined using a and b. This may be graphically seen referring to **Figure 5a** which shows the 55 halftone cell 300 at a predetermined angle with respect to the display space grid which runs in a horizontal and vertical orientation of 0° and 90°. Tiles which are used to represent the halftone cell may be graphically deter-

mined by first drawing the bounding box 325 around the vertices 50, 70, 80 and 90 of the adjusted halftone cell, block 220. This bounding box 325 has a first side 330, second side 335, third side 340 and fourth side 345. At block 220 the tiles which are to be used to represent the halftone cell are then constructed. Referring to **Figure 5b**, five tiles are constructed 350, 355, 400, 405, and 410. These five tiles 350, 355, 400, 405 and 410 form a bounding box around the adjusted halftone cell 300. The tiles are delineated by the lines connecting the vertices 50, 70, 80 and 90 of the adjusted halftone cell. These tiles are representative of the threshold values stored in memory to represent the halftone cells of the display space. It should be observed that tile 350 is a duplicate of tile 400 and tile 355 is the same as tile 405, and do not need to be separately represented in memory. Thus the entire display space is defined by the three tiles 400, 405 and 410. The tiles are mapped the same with respect to each other regardless of the location of the tiles in the display space, thereby providing a straightforward means for utilizing the tiles.

The three tiles 400, 405, 410 generated are simply rectangles. Referring to **Figure 7a**, the size and orientation of the tiles with respect to the bounding box will now be described. A first vertex 50 is established to be at x,y coordinate location (0,0). The adjacent vertex 70 would then be at location (a,b) because as discussed above the incremented value along the x axis is equal to a and the incremented value along the y axis is equal to b. The next vertex 80 is at location (a-b, b+a) because the incremental value in x is equal to b and the incremental value in y is equal to a. It follows that the last vertex 90 is at location (-b,a). Similarly, the number, size and shape of the tiles are dependent upon the size and orientation (i.e., the value of  $\theta$ ) of the cell. For example, if  $\theta_a$  is equal to  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  or  $180^\circ$  only one tile will be generated. If  $\theta_a$  is equal to  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$ , or  $315^\circ$ , two tiles will be generated. However, typically 3 tiles are generated.

The first tile 405 is generated according to adjacent vertices whereby the vertices form opposing vertices of a rectangular tile. These vertices may be viewed as the endpoints of the diagonal line through the rectangle. As shown in **Figure 7a**, using the two vertices 80 and 90 of the halftone cell (a-b, b+a) and (-b,a), the remaining two tile vertices are easily determined to be the remaining vertices of the rectangle at locations (a-b, a) and (-b, b+a).

The second tile 400 is similarly determined using the vertex 70 (a,b) and vertex 80 (a-b, b+a) as the endpoints of the diagonal line through the rectangle. Thus the vertices of the second rectangle are (a-b, b), (a, b), (a, b+a) and (a-b, b).

The third tile 410 has a common vertex (a-b, b) with the second tile 400 and a common vertex (a-b, a) with the first tile 405. The third vertex is established at the location collinear with the first vertex of the cell (0,0) and is collinear with the second vertex (a,b) of the cell. Thus

the vertex is located at (0,b) and forms the diagonal across the square formed with (a-b, a). Simple geometry indicates that the fourth vertex is located at (0,a).

The remaining two tiles 350 and 355 which cover

5 the cell [(0,0), (0,a), (-b,a), (-b,0)] and [(a,0), (a,b), (0,b), (0,0)] are simple repetitions of the first tile 405 and the second tile 400 tile and therefore do not need to be stored in memory. Instead, during the halftoning process these three tiles will be referred to for retrieval of threshold values.

10 **Figure 7b** is a visual illustration of the mapping of the tiles across a simple address space. The spatial relationship among the three tiles are constant, and the process of mapping the tiles to the display space is simplified.

15 Once the tiles have been determined, at block 230, **Figure 6a**, the threshold values to be used to perform the half-toning process are generated. The threshold values are computed according to a spot function which 20 generates a value for each pixel which is then, during the half-toning process, compared to the desired intensity value and is used to determine whether a pixel is to be turned on or off. The spot function is a user specified mathematical function and can be one of the many spot 25 functions known to those skilled in the art. It should be noted that the spot function and threshold values generated therefrom are illustrative only of spot functions and threshold values generated and the present invention may be implemented using a variety of spot functions and threshold values.

30 An exemplary spot function is the circle spot function wherein the threshold values determined from the equation  $f(x,y)=1 - x^2 - y^2$  where x and y are the coordinate values of a pixel in a halftone cell relative to the 35 center of the halftone cell. To generate the threshold values, the coordinate values are translated and scaled to a coordinate space centered around the half-tone cell having the limits of the space between -1 and +1. For each pixel within the half-tone cell, the x,y coordinate 40 pair (transformed coordinates) is used to generate an intermediate value using the spot function. Once an intermediate value has been generated for each pair of the coordinate values within the halftone cell, the intermediate values are sorted according to their magnitude 45 and the threshold values are generated based on the sorted order. For example, if a total of 50 pixels are within a single half-tone cell and the range of intensities or gray scale to be simulated is between 0 and 255, the incremental threshold value is determined to be 50 50, which equals 5.1. Thus the first pixel after sorting which has the highest intermediate value is given a value of 255, the second pixel a value of 249.9, the third pixel a value of 244.8. This process continues until the last pixel on the sorted list is given a value of 5.1. These 55 values are the values stored in memory and are accessed during the rendering process to generate half-tone Images.

Although the tiles can be stored in memory in the

form as shown for example in **Figure 7a**, the process of mapping the tiles to the display space or for fetching the threshold value of a particular pixel during the rendering process is quite costly and time consuming. To minimize the amount of memory needed to store a half-tone cell and still provide a quick and simple method to access the threshold values during the rendering process, the tiles are unwrapped and organized in an array referred to as a threshold array, which provides a more simple mapping to the display space. This array is minimal in size but still is easy to access and map to the display space.

The process illustrated by **Figures 8a** and **8b** illustrates how a threshold array is reconstructed from unwrapping the three tiles 400, 405, and 410. Hereinafter we refer to tile 405 as tile T1, tile 400 as tile T2 and tile 410 as tile T3. A pointer table is generated to identify the mapping of pixels in order to tile across the display space. Each entry in the pointer table corresponds to one element in the three tiles, which can be coordinated with the rendering process for generating the output values of pixels on a scan line by scan line (i.e., row by row) basis. The pointer value in the pointer table indicates the row and tile that is adjacent to the right most element in the row and tile currently being accessed for rendering. Because the spatial relationship among the five tiles 350, 355, 400, 405 and 410, is fixed across the entire display space, one pointer table is applicable for tiling across the entire display space. For example, referring to **Figures 8a** and **8b**, by mapping the first pixel in the first row of tile T1 to the first pixel in the first scan line of the display space, the threshold values in that row of the tile from the left most pixel to the right most pixel are utilized to render pixels in the first scanline. When the end of the row in tile T1 is reached, the system refers to the pointer table which identifies the next tile and the row of the tile to be utilized adjacent to the right most pixel of the current row in T1. In the present illustration, as shown in **Figures 8a** and **8b**, the pointer table identifies row 1 of tile T2 to follow the right most pixel of row 1 of tile T1. The threshold values in row 1 of tile T2 are utilized until the last pixel of this row is reached. At that time, the pointer table is again referenced to determine the next tile and the row of the tile which is adjacent to the right most pixel of row 1 of tile T2. The pointer table then identifies row 1 of tile T3 to be the following row adjacent to row 1 of tile T2.

This process continues until the end of the scan line is reached, and this process is applied to each scan line of the digital image until the image is rendered. For example, referring to **Figure 9b**, the pointer table entry for pixel 375 will point to the first row of the tile 410, and the pointer table entry for the right most pixel 390 in row 1 of tile 410 will point to row 5 of tile 400. The half-toning process will then access each pixel in the fifth row of tile 400 from the left to the right until the last pixel 385 is reached, the process will refer to the pointer table entry which will indicate that the first pixel 395 of the third row

of tile 405 is the next to be accessed. Thus, one pointer table is generated for each single tile and the three pointer tables are all that are needed for all tiles mapped across the display space.

- 5 It has been determined that memory space can be minimized and the amount of time required to render the half-tone image can be maintained or even increased by "unwrapping" the tiles to generate a threshold array which is more compatible with the structure of memory.
- 10 A rectangular array of threshold values can be derived from the three tiles to provide threshold values necessary to render an image across the display space. This is achieved by "unwrapping" the tiles into the rectangular array. The array has a width (w) and a height (h). The height h is equal to the greatest common denominator (gcd) of a and b. In the present example, a = 6 and b = 4. Thus  $h = \text{gcd}(6, 2) = 2$ . Thus the height of the array will be 2 units, e.g. pixels, high. The width of the array is determined by the number of threshold values across a scan line before the sequence of threshold values repeats itself. Referring to **Figure 10a**, the tiles generated for a series of half-tone cells and their corresponding threshold values are illustrated. For purposes of explanation, the threshold values are given letter values (A - Z) and (a - z). As can be seen in **Figures 10a** and **10b** by the row identified by the number 0, the threshold values generated start at A and end at J. This row contains the first row of tile 405 with threshold values A-F, and the first row of tile 400 with threshold values G-J. The next two threshold values are U, V, which correspond to a row of the center tile 410 of the half-tone cell. This is followed by a row of threshold values from tile 400, W,X,Y,Z. Adjacent to Z are the elements from the third row of tile 405, followed by the third row of tile 400, with threshold values a through j. Following the threshold value j, the sequence of threshold values are repeated. Thus the sequence of threshold values to be stored in memory are ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZabcdefghijklmnopqrstuvwxyz and the number of elements in the repetition pattern is 26 (which is referred to as the width of the threshold array). Similarly, the same sequence is used to determine that the second row, identified as row 1, **Figure 10b**, is the same width as row 0 and contains the elements KLMNOPQRSTUVWXYZ, uvwxyz, klmnopqrstuvwxyz.
- 15 25 30 35 40 45 50 55
- 45 Referring to **Figure 10a**, the three basic tiles in their original orientation are identified by a row number, row 0 being A - J, row 1 being K - T, etc. The first sequence of threshold values in the array will start with the row 0 threshold values, that is, A - J. Referring to **Figure 10b** and **Figure 10d**, the pointer to the next row of threshold values to be used is determined according to the following equation: Row Number + b mod a, where Row number is the current row number and a and b are respectively the a and b elements used to determine the adjusted half-tone cell. Applying the equation to the 0 row to determine the row adjacent to the 0 row is  $(0 + 4) \bmod 6 = 4$ . Thus, the threshold values of row 4 are adjacent to the threshold values of row 0. The next row

of threshold values is equal to  $(4 + 4) \bmod 6$  which = 2. The next row of threshold values adjacent is determined according to  $(2 + 4) \bmod 6 = 0$ , which indicates that the sequence is repeating itself because the first row of the sequence is row  $\emptyset$ . Thus the width of the pattern of threshold values to be stored in memory is equal to the width of row zero (which is 10) plus the width of row 4 (which is 6), plus the width of row 2 (which is 10), the total being 26.

Similarly, to determine the second row, the first row of threshold values is row 1, the adjacent row is identified by the equation  $1 + 4 \bmod 6 = 5$ , and the next row is determined from the equation  $5 + 4 \bmod 6 = 3$ . Applying the equation to the next row will generate the number 1, indicating that the sequence is starting to repeat itself. Thus, referring to **Figure 10e**, the threshold array stored in memory is a  $2 \times 26$  array containing the threshold values identified. It should be noted that by unwrapping the three tiles 400, 405 and 410 as illustrated in **Figures 10a, 10b, 10c, 10d** and **10e**. No pointer table is physically stored in memory because the threshold array takes into account the pointer values. Furthermore, with this array of threshold values, the mapping of threshold values to the display space is simplified.

As illustrated by the flow chart of **Figure 6b**, the threshold array stored in memory may then be easily accessed to render a digital halftone image. To determine the threshold value for any pixel in the display space, a simple translation is performed to translate the coordinate of a pixel in display space into the memory address of the threshold array. To illustrate the process, the pixel 500 in **Figure 11**, at the x,y coordinate location (16, 5) is utilized. At block 245, **Figure 6a**, the number of rows down from the (0,0) location of the display space is determined by using the following equation:  $\text{Int}(\text{dy}/h)$  where dy is the number of pixels from location (0,0), h is the height of the threshold array and Int is an integer function. Thus in the present example, the variable n, indicative of the number of rows of threshold arrays down from (0, 0) =  $5 + 2 = 2.5$  or the integer value of 2. It is a common practice to map the first pixel of the display space to the first pixel of the threshold array. Each row of threshold array mapped to the display space is the same except each subsequent row is shifted by a predetermined amount referred to as the offset. In the example illustrated by **Figure 11** the offset is equal to a value of 10 and the amount of offset for a particular row is equal to the value of n multiplied by the amount of offset for each row. Thus, for example, the second row of threshold arrays mapped to the display space 510 is shifted by one offset. Similarly the third row of threshold arrays mapped 515 is shifted by an amount equal to twice the amount of the offset.

At block 250, the offset is determined from the width of the row. In the present illustration the offset is determined from the row identified by the same number as the height (h) of the threshold array. In the illustration, h is equal to 2. Thus the offset is equal to the value of 10

which is the width of row 2 (elements a - j). It follows that the row 510 of threshold arrays is shifted to the right by 10 values, whereby the first row of the threshold array starts with threshold values a - j and the next row starts with threshold values k - t. Similarly, the third threshold array mapped would be right shifted  $2*10 = 20$  and therefore starts with threshold values G - J and the next row starts with threshold values Q - T.

The dy and dx coordinates for a particular pixel are mapped to the threshold array memory coordinate by a translation, whereby  $\text{dx}'$ , the x distance from the origin of the threshold array, is equal to:

$(\text{dx} - n * \text{offset}) \bmod (\text{threshold width})$  where mod represents a modular function. Similarly  $\text{dy}'$ , the y distance from the origin, is equal to:  $\text{dy} - n * h$ . Using the present example, pixel 500 in **Figure 11**,  $\text{dx}' = (16 - 2*10) \bmod 26 = 22$  and  $\text{dy}' = 5 - 2*2 = 1$ . Thus the threshold array element used to determine the half-tone value for the particular pixel 500 is located in location  $x = 22$  and  $y = 1$  in the threshold array. At block 260, **Figure 6b**, the threshold value at location (22, 1) in the threshold array is accessed and at block 265 the halftone value for the pixel is generated.

Once the threshold value for the initial pixel in a row is determined, succeeding pixels in the same row can easily be identified and determined as succeeding pixels in the threshold array, wherein a wrap-around function, such as the function described earlier, is applied whereby the last pixel in the threshold array is reached. Utilizing this process, the halftone image can be quickly and simply generated while the minimal amount of memory for storage of the threshold array is used.

The invention has been described in conjunction with the preferred embodiment. It is evident that numerous alternatives, modifications, variations and uses will be apparent to those skilled in art in light of the foregoing description. For example, the preferred embodiment has been described as a row dependent scan line process where the pixels are implemented horizontally from the left side of the display space to the right. However, as it is apparent to one skilled in the art, the rendering process could conceivably be a row dependent process which is rendered from the left side of the display space to the right, or could be a column dependent process where the scan line algorithm operates in a vertical fashion from the top of the display space to the bottom or vice versa.

## 50 Claims

1. A method for use in an image generating apparatus comprising a digital halftone system wherein a range of intensities of images are simulated to generate digital images, said images generated being output to an image output device comprising a digital display space comprising a matrix of pixels situated on an X-Y grid, said method for reducing the

amount of memory required to store the threshold array to generate digital halftone images, comprising the steps of:

specifying the length of a side, angle and angle tolerance of a halftone cell (300) to be stored in memory, said halftone cell (300) comprising a matrix of cell threshold values which are referenced to generate a digital halftone image; determining the actual angle and length of a side of the halftone cell adjusted to fit the display space grid;

characterised by the steps of:

determining a bounding box (325) orientated along the x and y axes of the display space grid which envelops the adjusted halftone cell; partitioning the bounding box (325) into one or more tiles of tile threshold values (400,405,410), said tiles (400,405,410) being generated according the vertices of the halftone cell (300) and the bounding box (325); generating a mapping of tiles (400,405,410) across the display space; generating the tile threshold values for the tiles according to a spot function for the adjusted halftone cell by unwrapping the tile threshold values (405) to reconstruct the threshold array of threshold values, said threshold array having a height equal to the greatest common denominator of the x axis increment and y axis increment between vertices of the halftone cell and having a width equal to the number of threshold values in a sequence of threshold values across a row of contiguous tiles which are incurred before the sequence repeats itself; and storing the threshold array of threshold values in memory, said threshold array requiring a significantly smaller amount of memory than the tiles of tile threshold values (400,405,410) and capable of being accessed in an efficient manner in order to generate said display signal for displaying a digital halftone image.

2. The method according to claim 1, wherein the step of determining the actual angle and size of the halftone cell (300) adjusted to fit the display space grid comprises the steps of:

rounding to the nearest pixel a first vertex of the halftone cell (300) to determine the adjusted first vertex; rounding to the nearest pixel an adjacent second vertex of the halftone cell (300) to determine the adjusted second vertex, said second vertex located an incremental distance corre-

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

sponding to a cell frequency value, said cell frequency value comprising an initial X axis increment and initial Y axis increment, said X axis increment and Y axis increment determined according to the following equations:

$$a = \text{INT}[R_d \cos \Theta_d]$$

$$b = \text{INT}[R_d \sin \Theta_d]$$

where a represents the initial X axis increment, b represents the initial Y axis increment,  $R_d$  represents the desired length of a side of a halftone cell and  $\Theta_d$  represents the desired angle of the halftone cell; rounding to the nearest pixel the third vertex adjacent to the second vertex to determine the adjusted third vertex, said adjusted third vertex located an incremental distance from the adjusted second vertex corresponding to the cell frequency value, said X axis increment being equal to the initial Y axis increment and said Y axis increment being equal to the initial X axis increment; rounding to the nearest pixel the fourth vertex, adjacent to the third vertex and first vertex, to determine the adjusted fourth vertex, said adjusted fourth vertex located an incremental distance from the adjusted third vertex corresponding to the cell frequency value, said X axis increment being equal to the initial X axis increment and said Y axis increment being equal to the initial Y axis increment; whereby the size of the halftone cell is determined by the cell frequency value and the actual angle relative to the display space is determined according to the  $\tan b/a$ , where  $\tan$  represents a tangent function.

3. The method according to claim 2, wherein the step of determining the actual angle and size of the halftone cell (300) adjusted to fit the display space grid further comprises the steps of:

comparing the actual angle to the desired angle; and

if the difference between the two angles is not within the angle tolerance, constructing a supercell of halftone cells having an actual angle within the angle tolerance.

4. The method according to claim 2, wherein the length of the sides of the bounding box is equal to  $a + b$ .

5. The method according to claim 2, wherein the step

of determining a bounding box (325) oriented along the x and y axes of the display space grid which envelops the adjusted halftone cell (300) comprises the step of generating lines along the axes of the display grid of length  $a + b$  representative of the sides of the bounding box, each of said lines drawn through a vertex of the adjusted halftone cell and along the axis which is the major axis of a corresponding side of the adjusted halftone cell. 5

6. The method according to claim 4, wherein the step of partitioning the bounding box (325) into one or more tiles of threshold values comprises the steps of: 10

generating a first tile (400) rectangular in shape having a diagonal equal to a first side of the adjusted halftone cell whereby adjacent vertices forming the first side form the opposing vertices of the first tile; 15

if the first tile does not cover the entire bounding box, generating a second tile (405) rectangular in shape having a diagonal equal to an adjacent second side of the adjusted halftone cell whereby the adjacent vertices forming the second side form the opposing vertices of the second tile; 20

if the first and second tiles together do not cover the entire bounding box, generating a third tile (410) rectangular in shape having a common vertex with the first tile and common vertex with the second tile, a third vertex collinear with the first and second vertices of the adjusted halftone cell and the fourth vertex collinear with the first vertex of the halftone cell and the third vertex of the halftone cell. 25

7. The method according to claim 4, wherein the step of partitioning the bounding box (325) into one or more tiles of threshold values comprises the steps of: 30

generating a first tile (400) rectangular in shape having a diagonal equal to a first side of the adjusted halftone cell whereby adjacent vertices forming the first side form the opposing vertices of the first tile; 35

if the first tile does not cover the entire bounding box, generating a second tile (405) rectangular in shape having a diagonal equal to an adjacent second side of the adjusted halftone cell whereby the adjacent vertices forming the second side form the opposing vertices of the second tile; 40

if the first and second tiles together do not cover the entire bounding box; 45

generating a fourth tile (350) rectangular in shape having a diagonal equal to a third side 50

of the adjusted halftone cell; generating a fifth tile (355) rectangular in shape, having a diagonal equal to a fourth side of the adjusted halftone cell; generating a third tile (410) rectangular in shape covering the remaining area of the bounding box not covered by the first, second, fourth and fifth tiles, said third tile having a common vertex with the first tile and common vertex with the second tile, a common vertex with the fourth tile and a common vertex with the fifth tile. 55

8. The method according to claim 6, wherein the step of generating the threshold values for the tiles according to a spot function for the adjusted halftone cell comprises the steps of: 60

translating the coordinate values of the halftone cell to an intermediate coordinate space centred around the halftone cell, the coordinate space ranging from -1 to +1; 65

generating an intermediate threshold value for each threshold value location in the tiles according to the spot function and the translated coordinate values; and 70

mapping the intermediate threshold values to the range of intensities to be simulated to generate the threshold values. 75

9. The method according to claim 8, wherein the spot function is: 80

$$f(x,y) = 1 - X^2 - y^2, \text{ where } x \text{ and } y \text{ are the translated coordinate values of a pixel in a halftone cell relative to the center of the halftone cell.}$$

10. The method according to claim 8, wherein the step of unwrapping the tiles of threshold values to form a threshold array comprises the steps of: 85

determining the height of the threshold array to be equal to the greatest common denominator of  $a$  and  $b$ ; 90

determining the contents of a first row of the threshold array by starting with an initial row of an initial tile and scanning the row of tiles until a repetition of the initial tile is reached, said contents being the threshold values of the initial tile and adjacent tiles prior to the repetition of the initial tile; 95

determining the contents of subsequent rows of the threshold array to be subsequent adjacent rows to the initial row of the initial tile, said subsequent rows having the same width of the first row, the number of rows determined by the height of the threshold array. 100

11. The method according to claim 1, further comprising the step of retrieving a threshold value from the threshold array for rendering a pixel at (x,y) coordinates (dx,dy) comprising the steps of:

determining the location of dy relative to the number of rows of threshold arrays, n, from the threshold array at the (0,0) location;  
 setting an offset to be equal to the number of threshold values in a row of tiles, the number of the row of tiles being equal to the height of the threshold array, said offset indicating the number of threshold values the threshold array is shifted for each subsequent row of threshold arrays;  
 generating an (x,y) index (dx',dy') into the threshold array to retrieve the threshold value to render the pixel at coordinates (dx,dy) utilizing the following equations:

$$dx' = (dx - n * \text{offset}) \bmod (w)$$

$$dy' = (dy - n * h)$$

where h is the height of the threshold array, w is the width of the threshold array and mod is a modular function.

12. The method as set forth in claim 11, wherein n is determined according to the following equation:  $n = \text{Int}(dy/h)$ , where Int is an integer function.

13. The method as set forth in claim 11, wherein the threshold values corresponding to subsequent adjacent pixels to (dx, dy) may be incrementally indexed and retrieved in a sequential manner from dx' and dy'.

14. An image generating apparatus comprising a digital halftone system wherein a range of intensities are simulated by actuating pixels on an output device in a predetermined sequence to generate images, said output device comprising a digital display space comprising a matrix of pixels situated on an X-Y grid, said apparatus comprising:

a halftone cell (300) having an initial size and angle relative to the grid of the display space, said cell to comprise a matrix of threshold values referenced to generate a digital halftone image;

adjustment means for adjusting the halftone cell to fit to the grid of the display space;

characterized by:

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

means for generating a bounding box (325) oriented along the x and y axes of the display space grid which envelops the adjusted halftone cell (300);

a set of one or more tiles (400,405,410) of threshold values, said tiles generated according the vertices of the halftone cell (300) and the bounding box (325);

means for generating threshold values for the tiles according to a spot function for the adjusted halftone cell;

means for determining a mapping of tiles across the display space;

means for unwrapping the tiles of threshold values to reconstruct a threshold array of threshold values,

said threshold array having a height equal to the greatest common denominator of the x axis increment and y axis increment between vertices of the halftone cell, and having a width equal to the number of threshold values in a sequence of threshold values across a row of contiguous tiles which are incurred before the sequence repeats itself; and

memory for storage of the threshold array of threshold values, the size of the memory required to store the threshold array being significantly smaller than the amount of memory required to store the tiles of threshold values and the halftone cell;

whereby the amount of memory required to store the threshold array to generate images is reduced and the threshold array is referenced to extract the threshold values utilised to generate a digital halftone image.

15. The apparatus according to claim 14, wherein the adjustment means comprises:

a first rounding means to locate the nearest pixel to a first vertex of the halftone cell to determine the adjusted first vertex;  
 a second rounding means for rounding to the nearest pixel an adjacent second vertex of the halftone cell to determine the adjusted second vertex, said second vertex located an incremental distance corresponding to a cell frequency value, said cell frequency value comprising an initial X axis increment and initial Y axis increment, said X axis increment and Y axis increment determined according to the following equations:

$$a = \text{INT}[R_d \cos \Theta_d]$$

$$b = \text{INT}[R_d \sin \Theta_d]$$

where  $a$  represents the initial X axis increment,  $b$  represents the initial Y axis increment,  $R_d$  represents the desired length of a side of a halftone cell and  $\Theta_d$  represents the desired angle of the halftone cell;  
 a third rounding means for rounding to the nearest pixel the third vertex adjacent to the second vertex to determine the adjusted third vertex, said adjusted third vertex located an incremental distance from the adjusted second vertex corresponding to the cell frequency value, said X axis increment being equal to the initial Y axis increment and said Y axis increment being equal to the initial X axis increment;  
 a fourth rounding means for rounding to the nearest pixel the fourth vertex, adjacent to the third vertex and first vertex, to determine the adjusted fourth vertex, said adjusted fourth vertex located an incremental distance from the adjusted third vertex corresponding to the cell frequency value, said X axis increment being equal to the initial X axis increment and said Y axis increment being equal to the initial Y axis increment;  
 whereby the size of the halftone cell is determined by the cell frequency value and the actual angle relative to the display space is determined according to the  $\tan b/a$ , where  $\tan$  represents a tangent function.

16. The apparatus according to claim 14, wherein the means for generating a bounding box (325) oriented along the x and y axes of the display space grid which envelops the adjusted halftone cell comprises line generating means which generates lines of length  $a + b$  along the axes of the display grid, said lines forming the sides of the bounding box, said line generating means draws each of said lines through a vertex of the adjusted halftone cell and along the axis which is the major axis of a corresponding side of adjusted the halftone cell.

17. The apparatus according to claim 14, wherein the set of tiles comprise:

a first tile (400) rectangular in shape having a diagonal equal to a first side of the adjusted halftone cell whereby adjacent vertices forming the first side form the opposing vertices of the first tile;  
 if the first tile does not cover the entire bounding box, said set further comprises a second tile (405) rectangular in shape having a diagonal equal to an adjacent second side of the adjusted halftone cell whereby the adjacent vertices forming the second side form the opposing vertices of the second tile;  
 if the first and second tiles together do not cover

5

the entire bounding box, said set further comprises a third tile (410) rectangular in shape having a common vertex with the first tile and common vertex with the second tile, a third vertex collinear with the first and second vertices of the adjusted halftone cell and the fourth vertex collinear with the first vertex of the halftone cell and the third vertex of the halftone cell.

10 18. The apparatus according to claim 14, wherein the means for generating the threshold values for the tiles comprises:

an intermediate coordinate space centred around the adjusted halftone cell having a range from -1 to +1;  
 translating means for translating the coordinate values of the halftone cell to the intermediate coordinate space;  
 means for generating an intermediate threshold value for each threshold value location in the tiles according to the spot function and the translated coordinate values; and  
 means for mapping the intermediate threshold values to the range of intensities to be simulated to generate the threshold values;  
 replacement means for storing in the tiles the intensities mapped to the intermediate threshold values;

30

19. The apparatus according to claim 18, wherein the spot function is:

35  $f(x,y) = 1 - x^2 - y^2$ , where  $x$  and  $y$  are the translated coordinate values of a pixel in a halftone cell relative to the center of the halftone cell.

20. The apparatus according to claim 14, wherein the means for unwrapping the tiles of threshold values to form a threshold array comprises the steps of:

40 means for determining the height of the threshold array to be equal to the greatest common denominator of  $a$  and  $b$ ;

45 means for determining the contents of a first row of the threshold array by starting with an initial row of an initial tile and scanning the row of tiles until a repetition of the initial tile is reached, said contents being the threshold values of the initial tile and adjacent tiles prior to the repetition of the initial tile;

50 means for determining the contents of subsequent rows of the threshold array to be subsequent adjacent rows to the initial row of the initial tile, said subsequent rows having the same width as the first row, the number of rows determined by the height of the threshold array.

55

21. The apparatus according to claim 14, further comprising accessing means for retrieving a threshold value from the threshold array for rendering a pixel at (x,y) coordinates (dx,dy), comprising:

means for determining the location of dy relative to the number of rows of threshold arrays, n, from the threshold array at the (0,0) location; means for setting an offset to be equal to the number of the threshold values in a row of tiles, the number of the row of tiles being equal to the height of the threshold array, said offset indicating the number of threshold values the threshold array is shifted for each subsequent row of threshold arrays; means for generating an (x,y) index (dx, dy') into the threshold array to retrieve the threshold value to render the pixel at coordinated (dx,dy) utilizing the following equations:

5

10

15

20

$$dx' = (dx - n * offset) \bmod (w)$$

$$dy' = (dy - n * h)$$

25

where h is the height of the threshold array, w is the width of the threshold array and mod is a modular function.

30

35

40

45

#### Patentansprüche

1. Ein Verfahren zur Anwendung bei einer BilderzeugungsVorrichtung mit einem digitalen Halbton-System, wobei zum Erzeugen von digitalen Bildern ein Bereich von Intensitäten von Bildern simuliert wird, wobei die erzeugten Bilder an eine Bildausgabeeinrichtung ausgegeben werden, die einen digitalen Anzeigeraum mit einer auf einen X-Y-Raster angeordneten Pixelmatrix aufweist, wobei das Verfahren zum Verringern des zum Speichern der Schwellwertmatrix zum Erzeugen von digitalen Halbtonbildern benötigten Speicherumfangs dient und die Schritte aufweist:

Angeben einer Seitenlänge, eines Winkels und einer Winkeltoleranz einer im Speicher zu speichernden Halbtonzelle (300), wobei die Halbtonzelle (300) eine Matrix von Zellen-Schwellwerten aufweist, auf die zum Erzeugen eines digitalen Halbtonbildes Bezug genommen wird; Bestimmen des tatsächlichen Winkels und der tatsächlichen Länge einer Seite der Halbtonzelle, die an das Raster des Anzeigeraums angepaßt wurde;

50

55

Bestimmen eines entlang der x- und y-Achsen des Rasters des Anzeigeraums ausgerichteten Begrenzungsrahmens (325), der die angepaßte Halbtonzelle umhüllt;

Aufteilen des Begrenzungsrahmens (325) in eine oder mehrere Kacheln (400, 405, 410) mit Kachel-Schwellwerten, wobei die Kacheln (400, 405, 410) entsprechend den Eckpunkten der Halbtonzelle (300) und dem Begrenzungsrahmen (325) erzeugt werden;

Erzeugen einer Überdeckung des Anzeigeraums mit den Kacheln (400, 405, 410);

Erzeugen der Kachel-Schwellwerte für die Kacheln entsprechend einer Fleckfunktion für die angepaßte Halbtonzelle durch Abwickeln der Kachel-Schwellwerte (405), um die Schwellwertmatrix der Schwellwerte zu rekonstruieren, wobei die Schwellwertmatrix eine Höhe gleich dem größten gemeinsamen Teiler des x-Achsen-Inkrement und y-Achsen-Inkrement zwischen Eckpunkten der Halbtonzelle hat und eine Breite gleich der Anzahl von in einer Folge von Schwellwerten entlang einer Zeile von zusammenhängenden Kacheln auftretenden Schwellwerten hat, die angetroffen werden, bis die Sequenz sich wiederholt; und

Speichern der Schwellwertmatrix von Schwellwerten im Speicher, wobei die Schwellwertmatrix einen wesentlich geringeren Speicherumfang benötigt, als die Kacheln (400, 405, 410) der Kachel-Schwellwerte, und dazu geeignet ist, daß zur Erzeugung des Anzeigesignals zum Anzeigen eines digitalen Halbtonbildes in effizienter Weise auf sie zugegriffen werden kann.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Bestimmens des tatsächlichen Winkels und der tatsächlichen Größe der an das Raster des Anzeigeraums angepaßten Halbtonzelle (300) folgende Schritte aufweist:

Runden eines ersten Eckpunkts der Halbtonzelle (300) auf das nächste Pixel, um den angepaßten ersten Eckpunkt zu bestimmen; Runden eines benachbarten zweiten Eckpunkts der Halbtonzelle (300) auf das nächste Pixel, um den angepaßten zweiten Eckpunkt zu bestimmen, wobei der zweite Eckpunkt einen einem Zell-Frequenzwert entsprechenden inkrementalen Abstand entfernt angeordnet ist, wobei der Zell-Frequenzwert ein anfängliches X-Achsen-Inkrement und ein anfängliches Y-Achsen-Inkrement umfaßt, wobei das X-Achsen-Inkrement und das Y-Achsen-Inkrement gemäß den folgenden Gleichungen bestimmt werden:

gekennzeichnet durch die Schritte:

$$a = \text{INT}[R_d \cos \Theta_d]$$

$$b = \text{INT}[R_d \sin \Theta_d]$$

wobei a das anfängliche X-Achsen-Inkrement ist, b das anfängliche Y-Achsen-Inkrement,  $R_d$  die gewünschte Länge einer Seite einer Halbtonzelle und  $\Theta_d$  der gewünschte Winkel einer Halbtonzelle;

Runden des dem zweiten Eckpunkt benachbarten dritten Eckpunkts auf das nächste Pixel, um den angepaßten dritten Eckpunkt zu bestimmen, wobei der angepaßte dritte Eckpunkt einen dem Zell-Frequenzwert entsprechenden inkrementalen Abstand vom angepaßten zweiten Eckpunkt entfernt angeordnet ist, wobei das X-Achsen-Inkrement gleich dem anfänglichen Y-Achsen-Inkrement und das Y-Achsen-Inkrement gleich dem anfänglichen X-Achsen-Inkrement ist;

Runden des dem dritten und ersten Eckpunkt benachbarten vierten Eckpunkts auf das nächste Pixel, um den angepaßten vierten Eckpunkt zu bestimmen, wobei der angepaßte vierte Eckpunkt einen dem Zell-Frequenzwert entsprechenden inkrementalen Abstand von dem angepaßten dritten Eckpunkt entfernt angeordnet ist, wobei das X-Achsen-Inkrement gleich dem anfänglichen X-Achsen-Inkrement und das Y-Achsen-Inkrement gleich dem anfänglichen Y-Achsen-Inkrement ist;

wodurch die Größe der Halbtonzelle durch den Zell-Frequenzwert bestimmt ist und der tatsächliche Winkel relativ zum Anzeigeraum entsprechend  $\tan(b/a)$  bestimmt ist, wobei  $\tan$  die Tangens-Funktion ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schritt des Bestimmens des tatsächlichen Winkels und der tatsächlichen Größe der an das Raster des Anzeigeraums angepaßten Halbtonzelle (300) ferner folgende Schritte aufweist:

Vergleichen des tatsächlichen Winkels mit dem gewünschten Winkel; und falls der Unterschied zwischen den beiden Winkeln nicht innerhalb der Winkeltoleranz liegt, Konstruieren einer Super-Zelle von Halbtonzellen mit einem tatsächlichen Winkel, der innerhalb der Winkeltoleranz ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Länge der Seiten des Begrenzungsrahmens gleich  $a + b$  ist.

5. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schritt des Bestimmens eines Begrenzungsrahmens (325),

der entlang der x- und y-Achse des Rasters des Anzeigeraums ausgerichtet ist und die angepaßte Halbtonzelle (300) umhüllt, den Schritt des Erzeugens von Linien entlang der Achsen des Anzeigerrasters mit der Länge  $a + b$  umfaßt, die die Seiten des Begrenzungsrahmens darstellen, wobei jede dieser Linien durch einen Eckpunkt der angepaßten Halbtonzelle und entlang der Achse gezogen ist, die die Hauptachse einer zugehörigen Seite der angepaßten Halbtonzelle ist.

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Schritt des Aufteilens des Begrenzungsrahmens (325) in eine oder mehrere Schwellwert-Kacheln folgende Schritte aufweist:

Erzeugen einer ersten rechteckförmigen Kachel (400) mit einer Diagonale, die gleich eine ersten Seite der angepaßten Halbtonzelle ist, wodurch benachbarte Eckpunkte, die die erste Seite bilden, sich gegenüberliegende Eckpunkte der ersten Kachel bilden; falls die erste Kachel nicht den gesamten Begrenzungsrahmen überdeckt, Erzeugen einer zweiten rechteckförmigen Kachel (405) mit einer Diagonale, die gleich einer benachbarten zweiten Seite der angepaßten Halbtonzelle ist, wodurch die benachbarten Eckpunkte, die die zweite Seite bilden, sich gegenüberliegende Eckpunkte der zweiten Kachel bilden; falls die erste und zweite Kachel zusammen nicht den gesamten Begrenzungsrahmen überdecken, Erzeugen einer dritten rechteckförmigen Kachel (410) mit einem gemeinsamen Eckpunkt mit der ersten Kachel und einem gemeinsamen Eckpunkt mit der zweiten Kachel, einem dritten Eckpunkt, der kollinear mit den ersten und zweiten Eckpunkten der angepaßten Halbtonzelle ist, und einem vierten Eckpunkt, der kollinear mit dem ersten und dritten Eckpunkt der Halbtonzelle ist.

7. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Schritt des Aufteilens des Begrenzungsrahmens (325) in eine oder mehrere Schwellwert-Kacheln folgende Schritte aufweist:

Erzeugen einer ersten rechteckförmigen Kachel (400) mit einer Diagonale, die gleich einer ersten Seite der angepaßten Halbtonzelle ist, wodurch benachbarte Eckpunkte, die die erste Seite bilden, sich gegenüberliegende Eckpunkte der ersten Kachel bilden; falls die erste Kachel nicht den gesamten Begrenzungsrahmen überdeckt, Erzeugen einer zweiten rechteckförmigen Kachel (405) mit einer Diagonale, die gleich einer benachbarten zweiten Seite der angepaßten Halbtonzelle ist,

wodurch die benachbarten Eckpunkte, die die zweite Seite bilden, sich gegenüberliegende Eckpunkte der zweiten Kachel bilden; falls die erste und zweite Kachel zusammen nicht den gesamten Begrenzungsrahmen überdecken; 5

Erzeugen einer vierten rechteckförmigen Kachel (350) mit einer Diagonale, die gleich einer dritten Seite der angepaßten Halbtonzelle ist; Erzeugen einer fünften rechteckförmigen Kachel (355), mit einer Diagonale, die gleich einer vierten Seite der angepaßten Halbtonzelle ist; Erzeugen einer dritten rechteckförmigen Kachel (410) die den verbleibenden Bereich des Begrenzungsrahmens überdeckt, der nicht durch die erste, zweite, vierte und fünfte Kachel überdeckt ist, wobei die dritte Kachel einen gemeinsamen Eckpunkt mit der ersten Kachel und einen gemeinsamen Eckpunkt mit der zweiten Kachel, einen gemeinsamen Eckpunkt mit der vierten Kachel und einen gemeinsamen Eckpunkt mit der fünften Kachel hat. 10

8. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Schritt des Erzeugens der Schwellwerte für die Kacheln entsprechend einer Fleckfunktion für die angepaßte Halbtonzelle folgende Schritte aufweist: 25

Übersetzen der Koordinatenwerte der Halbtonzelle in einen Hilfskoordinatenraum, der um die Halbtonzelle zentriert ist und von -1 bis +1 reicht; 30

Erzeugen eines Hilfsschwellwerts für jeden Schwellwert-Ort in den Kacheln mit Hilfe der Fleckfunktion und der übersetzten Koordinatenwerte; und 35

Abilden der Hilfsschwellwerte auf den Bereich der zu simulierenden Intensitäten, um die Schwellwerte zu erzeugen. 40

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Fleckfunktion gegeben ist durch: 45

$f(x,y) = 1 - x^2 - y^2$ , wobei x und y die übersetzten Koordinatenwerte eines Pixels in einer Halbtonzelle bezogen auf den Mittelpunkt der Halbtonzelle sind. 50

10. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Schritt des Abwickelns der Schwellwert-Kacheln zum Bilden einer Schwellwertmatrix folgende Schritte aufweist: 55

Festlegen, daß die Höhe der Schwellwertmatrix gleich dem größten gemeinsamen Teiler von a und b sein soll; Bestimmen des Inhalts einer ersten Zeile der Schwellwertmatrix, indem mit einer anfänglichen Zeile einer anfänglichen Kachel begon-

nen wird und die Zeile der Kacheln abgetastet wird, bis eine Wiederholung der anfänglichen Kachel erreicht ist, wobei der Inhalt gleich den Schwellwerten der anfänglichen und benachbarter Kacheln ist, bevor es zu einer Wiederholung der anfänglichen Kachel kommt; Festlegen, daß der Inhalt von folgenden Zeilen der Schwellwertmatrix gleich folgenden benachbarten Zeilen zu der anfänglichen Zeile der anfänglichen Kachel ist, wobei die folgenden Zeilen die gleich Breite wie die erste Zeile haben, und wobei die Anzahl der Zeilen durch die Höhe der Schwellwertmatrix bestimmt wird. 15

11. Verfahren nach Anspruch 1, ferner aufweisend den Schritt des Abrufens eines Schwellwerts aus der Schwellwertmatrix zum Darstellen eines Pixels an den (x,y)-Koordinaten (dx,dy), der folgende Schritte umfaßt:

Bestimmen des Orts von dy relativ zur Anzahl der Zeilen der Schwellwertmatrizen, n, ausgehend von der Schwellwertmatrix am Ort (0,0); Setzen eines Offsets gleich der Anzahl der Schwellwerte in einer Zeile von Kacheln, wobei die Nummer der Kachelzeile gleich der Höhe der Schwellwertmatrix ist, wobei der Offset die Anzahl der Schwellwerte anzeigt, um die die Schwellwertmatrix für jede folgende Zeile von Schwellmatrizen verschoben wird; Erzeugen eines (x,y)-Index (dx', dy') in die Schwellwertmatrix, um den Schwellwert abzurufen, um das Pixel bei der Koordinate (dx,dy) mit Hilfe der folgenden Gleichungen darzustellen:

$$dx' = (dx - n * \text{offset}) \bmod (w)$$

$$dy' = (dy - n * h)$$

wobei h die Höhe der Schwellwertmatrix ist, w die Breite der Schwellwertmatrix und mod die Modulo-Funktion. 40

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei n gemäß der folgenden Gleichung bestimmt wird:

$$n = \text{Int}(dy/h), \text{ wobei Int die Integer-Funktion ist.}$$

13. Verfahren nach Anspruch 11, wobei diejenigen Schwellwerte, die nachfolgenden zu (dy,dy) benachbarten Pixeln entsprechen, inkrementell indiziert und in sequentieller Weise ausgehend von dx' und dy' abgerufen werden können. 50

14. Eine Bilderzeugungsvorrichtung mit einem digita-

len Halbton-System, wobei ein Intensitätsbereich simuliert wird, indem Pixel auf einer Ausgabeeinrichtung in einer vorgegebenen Reihenfolge zum Erzeugen von Bildern aktiviert werden, wobei die Ausgabeeinrichtung einen digitalen Anzeigeraum mit einer auf einem X-Y-Raster angeordneten Pixelmatrix aufweist, wobei die Vorrichtung aufweist:

5  
eine Halbtonzelle (300) mit einer anfänglichen Größe und einem anfänglichen Winkel bezogen auf das Raster des Anzeigeraums, wobei die Zelle eine Matrix von Schwellwerten enthält, auf die zum Erzeugen eines digitalen Halbtonbildes Bezug genommen wird;  
10 Anpassungsmittel zum Anpassen der Halbtonzelle an das Raster des Anzeigeraums;

15  
gekennzeichnet durch:

20  
Mittel zum Erzeugen eines entlang der x- und y-Achsen des Anzeigeraum-Rasters ausgerichteten Begrenzungsrahmens (325), der die angepaßte Halbtonzelle (300) umhüllt;  
25  
einen Satz von einer oder mehreren Kacheln (400, 405, 410) von Schwellwerten, wobei die Kacheln entsprechend den Eckpunkten der Halbtonzelle (300) und dem Begrenzungsrahmen (325) erzeugt sind;  
30  
Mittel zum Erzeugen von Schwellwerten für die Kacheln gemäß einer Fleckfunktion für die angepaßte Halbtonzelle;  
Mittel zum Bestimmen einer Kachel-Überdeckung des Anzeigeraums;  
35  
Mittel zum Abwickeln der Schwellwert-Kacheln zum Rekonstruieren einer Schwellwertmatrix, wobei die Schwellwertmatrix eine Höhe hat, die gleich dem größter gemeinsamen Teiler des x-Achsen-Inkrement und y-Achsen-Inkrement zwischen Eckpunkten der Halbtonzelle ist, und eine Breite hat, die gleich der Anzahl von in einer Folge von Schwellwerten über eine Zeile von zusammenhängenden Kacheln auftretenden Schwellwerten ist, die angetroffen werden, bis die Folge sich wiederholt; und  
40  
einen Speicher zum Speichern der Schwellwertmatrix von Schwellwerten, wobei die Größe des zum Speichern der Schwellwertmatrix benötigten Speichers wesentlich kleiner als der Speicherumfang ist, der benötigt wird, um die Schwellwert-Kacheln der Halbtonzelle zu speichern;  
45  
wodurch der Speicherumfang, der zum Speichern der Schwellwertmatrix zum Erzeugen von Bildern benötigt wird, reduziert ist und auf die Schwellwertmatrix Bezug genommen wird, um die zum Erzeugen eines digitalen Halbtonbildes verwendeten Schwellwerte zu gewinnen.

5  
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei die Anpassungsmittel aufweisen:

eine erste Rundungseinrichtung, um den Ort des einem ersten Eckpunkt der Halbtonzelle nächsten Pixels festzustellen, um den angepaßten ersten Eckpunkt zu bestimmen;  
eine zweite Rundungseinrichtung zum Runden eines benachbarten zweiten Eckpunkts der Halbtonzelle auf das nächste Pixel, um den angepaßten zweiten Eckpunkt zu bestimmen, wobei der zweite Eckpunkt einen dem Zell-Frequenzwert entsprechenden inkrementalen Abstand entfernt angeordnet ist, wobei der Zell-Frequenzwert ein anfängliches X-Achsen-Inkrement und ein anfängliches Y-Achsen-Inkrement umfaßt, wobei das X-Achsen-Inkrement und das Y-Achsen-Inkrement gemäß den folgenden Gleichungen bestimmt sind:

$$a = \text{INT}[R_d \cos \Theta_d]$$

$$b = \text{INT}[R_d \sin \Theta_d]$$

wobei a das anfängliche X-Achsen-Inkrement, b das anfängliche Y-Achsen-Inkrement,  $R_d$  die gewünschte Länge einer Seite einer Halbtonzelle und  $\Theta_d$  der gewünschte Winkel einer Halbtonzelle ist;  
eine dritte Rundungseinrichtung zum Runden des dem zweiten Eckpunkt benachbarten dritten Eckpunkts auf das nächste Pixel, um den angepaßten dritten Eckpunkt zu bestimmen, wobei der angepaßte dritte Eckpunkt einen dem Zell-Frequenzwert entsprechenden inkrementalen Abstand vom angepaßten zweiten Eckpunkt entfernt angeordnet ist, wobei das X-Achsen-Inkrement gleich dem anfänglichen Y-Achsen-Inkrement und das Y-Achsen-Inkrement gleich dem anfänglichen X-Achsen-Inkrement ist;  
eine vierte Rundungseinrichtung zum Runden des dem dritten und vierten Eckpunkt benachbarten vierten Eckpunkts auf das nächste Pixel, um den angepaßten vierten Eckpunkt zu bestimmen, wobei der angepaßte vierte Eckpunkt einen dem Zell-Frequenzwert entsprechenden inkrementalen Abstand von dem angepaßten dritten Eckpunkt entfernt angeordnet ist, wobei das X-Achsen-Inkrement gleich dem anfänglichen X-Achsen-Inkrement und das Y-Achsen-Inkrement gleich dem anfänglichen Y-Achsen-Inkrement ist;  
wodurch die Größe der Halbtonzelle durch den Zell-Frequenzwert bestimmt ist und der tatsächliche Winkel relativ zum Anzeigeraum ent-

sprechend tan (b/a) bestimmt ist, wobei tan die Tangens-Funktion ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei die Mittel zum Erzeugen eines Begrenzungsrahmens (325), der entlang der x- und y-Achse des Rasters des Anzeigeraums ausgerichtet ist und die angepaßte Halbtonzelle umhüllt, eine Linienerzeugungseinrichtung aufweisen, die Linien der Länge  $a + b$  entlang der Achsen des Anzeigerasters erzeugt, wobei die Linien die Seiten des Begrenzungsrahmens bilden, wobei die Linienerzeugungseinrichtung jede dieser Linien durch einen Eckpunkt der angepaßten Halbtonzelle und entlang der Achse zieht, die die Hauptachse einer zugehörigen Seite der angepaßten Halbtonzelle ist. 5

17. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei der Satz von Kacheln umfaßt:

eine erste rechteckförmige Kachel (400) mit einer Diagonale, die gleich einer ersten Seite der angepaßten Halbtonzelle ist, wodurch benachbarte Eckpunkte, die die erste Seite bilden, sich gegenüberliegende Eckpunkte der ersten Kachel bilden; 25

falls die erste Kachel nicht den gesamten Begrenzungsrahmen überdeckt, umfaßt der Satz ferner eine zweite rechteckförmige Kachel (405) mit einer Diagonale, die gleich einer benachbarten zweiten Seite der angepaßten Halbtonzelle ist, wodurch die benachbarten Eckpunkte, die die zweite Seite bilden, sich gegenüberliegende Eckpunkte der zweiten Kachel bilden; 30

falls die erste und zweite Kachel zusammen nicht den gesamten Begrenzungsrahmen überdecken, umfaßt der Satz ferner eine dritte rechteckförmige Kachel (410) mit einem gemeinsamen Eckpunkt mit der ersten Kachel und einem gemeinsamen Eckpunkt mit der zweiten Kachel, einem dritten Eckpunkt, der kollinear mit den ersten und zweiten Eckpunkten der angepaßten Halbtonzelle ist, und einem vierten Eckpunkt, der kollinear mit dem ersten und dritten Eckpunkt einer Halbtonzelle ist. 35

18. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei die Mittel zum Erzeugen von Schwellwerten für die Kacheln aufweisen: 40

einen Hilfskoordinatenraum, der um die angepaßte Halbtonzelle zentriert ist und von -1 bis +1 reicht; 45

eine Übersetzungseinrichtung zum Übersetzen der Koordinatenwerte der Halbtonzelle in den Hilfskoordinatenraum; 50

eine Einrichtung zum Erzeugen eines Hilfs-

schwellwerts für jeden Schwellwert-Ort in den Kacheln mit Hilfe der Fleckfunktion und der übersetzten Koordinatenwerte; eine Einrichtung zum Abbilden der Hilfsschwellwerte auf den Bereich der zu simulierenden Intensitäten, um die Schwellwerte zu erzeugen; eine Ersetzungseinrichtung zum Speichern der auf die Hilfsschwellwerte abgebildeten Intensitäten in den Kacheln. 5

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei die Fleckfunktion gegeben ist durch:

$f(x,y) = 1 - x^2 - y^2$ , wobei x und y die übersetzten Koordinatenwerte eines Pixels in einer Halbtonzelle bezogen auf den Mittelpunkt der Halbtonzelle sind. 10

20. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei die Mittel zum Abwickeln der Schwellwertkacheln zum Bilden einer Schwellwertmatrix aufweisen:

eine Einrichtung zum Festlegen, daß die Höhe der Schwellwertmatrix gleich dem größten gemeinsamen Teiler von a und b sein soll; eine Einrichtung zum Bestimmen des Inhalts einer ersten Zeile der Schwellwertmatrix, indem mit einer anfänglichen Zeile einer anfänglichen Kachel begonnen wird und die Zeile der Kacheln abgetastet wird, bis eine Wiederholung der anfänglichen Kachel erreicht ist, wobei der Inhalt gleich den Schwellwerten der anfänglichen und benachbarter Kacheln ist, bevor es zu einer Wiederholung der anfänglichen Kachel kommt; 25

eine Einrichtung zum Festlegen, daß der Inhalt von nachfolgenden Zeilen der Schwellwertmatrix gleich nachfolgenden benachbarten Zeilen zu der anfänglichen Zeile der anfänglichen Kachel ist, wobei die nachfolgenden Zeilen die gleiche Breite wie die erste Zeile haben, und wobei die Anzahl der Zeilen durch die Höhe der Schwellwertmatrix bestimmt wird. 30

21. Vorrichtung nach Anspruch 14, ferner mit Zugriffsmitteln zum Abrufen eines Schwellwerts aus der Schwellwertmatrix zum Darstellen eines Pixels an den (x,y)-Koordinaten (dx,dy), die aufweisen:

eine Einrichtung zur bestimmen des Orts von dy relativ zur Anzahl der Zeilen der Schwellwertmatrizen, n, ausgehend von der Schwellwertmatrix am Ort (0,0); 35

eine Einrichtung zum Setzen eines Offsets gleich der Anzahl der Schwellwerte in einer Zeile von Kacheln, wobei die Nummer der Kachelzeile gleich der Höhe der Schwellwertmatrix ist, 40

wobei der Offset die Anzahl der Schwellwerte anzeigt, um die die Schwellwertmatrix für jede folgende Zeile von Schwellmatrizen verschoben wird;

eine Einrichtung zum Erzeugen eines (x,y)-Index ( $dx'$ ,  $dy'$ ) in die Schwellwertmatrix, um den Schwellwert abzurufen, um das Pixel bei der Koordinate ( $dx, dy$ ) mit Hilfe der folgenden Gleichungen darzustellen:

$$dx' = (dx - n * offset) \bmod (w)$$

$$dy' = (dy - n * h)$$

wobei  $h$  die Höhe der Schwellwertmatrix ist,  $w$  die Breite der Schwellwertmatrix und  $\bmod$  die Modulo-Funktion.

#### Revendications

1. Un procédé à utiliser dans un appareil de génération d'images comprenant un système numérique à demi-teintes dans lequel une plage d'intensités d'images est simulée pour engendrer des images numériques, lesdites images engendrées étant envoyées à un dispositif de sortie d'images comprenant un espace numérique d'affichage comprenant une matrice de pixels situés sur une grille X-Y, ledit procédé étant destiné à réduire la quantité de mémoire nécessaire pour mémoriser le réseau de seuil pour engendrer des images numériques à demi-teintes, comprenant les étapes consistant à:

spécifier la longueur d'un côté, l'angle et la tolérance d'angle d'une cellule (300) à demi-teintes à entrer en mémoire, ladite cellule (300) à demi-teintes comprenant une matrice de valeurs de seuil de cellules qui sont référencées pour engendrer une image numérique à demi-teintes;

déterminer la longueur et l'angle réels d'un côté de la cellule à demi-teintes ajustée pour s'insérer dans la grille d'espace d'affichage;

caractérisé par les étapes consistant à:

déterminer une case limite (325) orientée selon les axes x et y de la grille d'espace d'affichage qui enveloppe la cellule ajustée à demi-teintes;

partager la case limite (325) en une ou plusieurs dalles à valeurs de seuil (400, 405, 410) de dalle, lesdites dalles (400, 405, 410) étant engendrées en fonction des sommets de la cellule (300) à demi-teintes et de la case limite (325);

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

engendrer une application de dalles (400, 405, 410) recouvrant tout l'espace d'affichage; engendrer des valeurs de seuil de dalles pour les dalles selon une fonction ponctuelle pour la cellule ajustée à demi-teintes en révélant les valeurs de seuil (405) de dalles pour reconstituer le réseau de seuil de valeurs de seuil, la hauteur dudit réseau de seuil étant égale au plus grand commun dénominateur de l'incrément d'axe x et de l'incrément d'axe y entre des sommets de la cellule à demi-teintes et sa largeur étant égale au nombre de valeurs de seuil qui sont contenues dans une séquence de valeurs de seuil, à la traversée d'une rangée de dalles contiguës, avant que la séquence ne se répète; et

entrer en mémoire le réseau de seuil de valeurs de seuil, ledit réseau de seuil exigeant une quantité de mémoire qui est de façon significative moindre que les dalles de valeurs de seuil (400, 405, 410) de dalles, et un accès y étant possible de manière efficace pour engendrer ledit signal d'affichage pour afficher une image numérique à demi-teintes.

2. Le procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape de détermination de l'angle et des dimensions réels de la cellule (300) à demi-teintes ajustée pour s'insérer dans la grille d'espace d'affichage comprend les étapes consistant à:

arrondir au pixel le plus voisin un premier sommet de la cellule (300) à demi-teintes afin de déterminer le premier sommet ajusté; arrondir au pixel le plus voisin un deuxième sommet adjacent de la cellule (300) à demi-teintes afin de déterminer le deuxième sommet ajusté, ledit deuxième sommet étant situé à une distance incrémentale correspondant à une valeur de fréquence de cellule, ladite valeur de fréquence de cellule comprenant un incrément initial d'axe X et un incrément initial d'axe Y, ledit incrément d'axe X et ledit incrément d'axe Y étant déterminés selon les équations suivantes:

$$a = \text{INT}[R_d \cos \Theta_d]$$

$$b = \text{INT}[R_d \sin \Theta_d]$$

où  $a$  représente l'incrément initial d'axe X,  $b$  représente l'incrément initial d'axe Y,  $R_d$  représente la longueur souhaitée d'un côté d'une cellule à demi-teintes et  $\Theta_d$  représente l'angle souhaité de la cellule à demi-teintes;

arrondir au pixel le plus voisin le troisième som-

met adjacent au deuxième sommet afin de déterminer le troisième sommet ajusté, ledit troisième sommet ajusté étant situé à une distance incrémentale du deuxième sommet ajusté correspondant à la valeur de fréquence de cellule, ledit incrément d'axe X étant égal à l'incrément initial d'axe Y et ledit incrément d'axe Y étant égal à l'incrément initial d'axe X;

arrondir au pixel le plus voisin le quatrième sommet, adjacent au troisième sommet et au premier sommet, afin de déterminer le quatrième sommet ajusté, ledit quatrième sommet ajusté étant situé à une distance incrémentale du troisième sommet ajusté correspondant à la valeur de fréquence de cellule, ledit incrément d'axe X étant égal à l'incrément initial d'axe X et ledit incrément d'axe Y étant égal à l'incrément initial d'axe Y;

grâce à quoi les dimensions de la cellule à demi-teintes sont déterminées par la valeur de fréquence de cellule et l'angle réel par rapport à l'espace d'affichage est déterminé en fonction de la Tan b/a, où Tan représente une fonction tangente.

3. Le procédé selon la revendication 2, dans lequel l'étape de détermination de l'angle et des dimensions réels de la cellule (300) à demi-teintes ajustée pour s'insérer dans la grille d'espace d'affichage comprend en outre les étapes consistant à:

comparer l'angle réel à l'angle souhaité; et si la différence entre les deux angles n'est pas incluse à l'intérieur de la tolérance angulaire, construire une super-cellule de cellules à demi-teintes dont l'angle réel est inclus à l'intérieur de la tolérance angulaire.

4. Le procédé selon la revendication 2, dans lequel la longueur des côtés de la case limite est égale à  $a + b$ .

5. Le procédé selon la revendication 2, dans lequel l'étape de détermination d'une case limite (325) orientée selon les axes x et y de la grille d'espace d'affichage qui enveloppe la cellule ajustée (300) à demi-teintes comprend l'étape consistant à engendrer, le long des axes de la grille d'affichage, des lignes d'une longueur  $a + b$  représentatives des côtés de la case limite, chacune desdites lignes passant par un sommet de la cellule ajustée à demi-teintes et le long de l'axe qui est l'axe principal d'un côté correspondant de la cellule ajustée à demi-teintes.

6. Le procédé selon la revendication 4, dans lequel l'étape de partage de la case limite (325) en une ou plusieurs dalles de valeurs de seuil comprend les étapes consistant à:

engendrer une première dalle (400) de configuration rectangulaire dont une diagonale est égale à un premier côté de la cellule ajustée à demi-teintes, des sommets adjacents qui forment le premier côté formant les sommets côtés opposés de la première dalle;

si la première dalle ne couvre pas toute la case limite, engendrer une deuxième dalle (405) de configuration rectangulaire dont une diagonale est égale à un deuxième côté adjacent de la cellule ajustée à demi-teintes, les sommets adjacents qui forment le deuxième côté formant les sommets opposés de la deuxième dalle;

si la première et la deuxième dalles ne couvrent pas ensemble toute la case limite, engendrer une troisième dalle (410) de configuration rectangulaire dont un sommet est commun avec la première dalle et un sommet est commun avec la deuxième dalle, un troisième sommet étant colinéaire avec le premier et le deuxième sommets de la cellule ajustée à demi-teintes et le quatrième sommet étant colinéaire avec le premier sommet de la cellule à demi-teintes et le troisième sommet de la cellule à demi-teintes.

7. Le procédé selon la revendication 4, dans lequel l'étape de partage de la case limite (325) en une ou plusieurs dalles de valeurs de seuil comprend les étapes consistant à:

engendrer une première dalle (400) de configuration rectangulaire dont une diagonale est égale à un premier côté de la cellule ajustée à demi-teintes, des sommets adjacents qui forment le premier côté formant les sommets côtés opposés de la première dalle;

si la première dalle ne couvre pas toute la case limite, engendrer une deuxième dalle (405) de configuration rectangulaire dont une diagonale est égale à un deuxième côté adjacent de la cellule ajustée à demi-teintes, les sommets adjacents qui forment le deuxième côté formant les sommets opposés de la deuxième dalle;

si la première et la deuxième dalles ne couvrent pas ensemble toute la case limite:

engendrer une quatrième dalle (350) de configuration rectangulaire dont une diagonale est égale à un troisième côté de la cellule ajustée à demi-teintes;

engendrer une cinquième dalle (355) de configuration rectangulaire dont un diagonale est égale à un quatrième côté de la cellule ajustée à demi-teintes;

engendrer une troisième dalle (410) de configuration rectangulaire couvrant la zone restan-

te de la case limite qui n'est pas couverte par les première, deuxième, quatrième et cinquième dalles, un sommet de ladite troisième dalle étant commun avec la première dalle et un sommet étant commun avec la deuxième dalle, un sommet étant commun avec la quatrième dalle et un sommet étant commun avec la cinquième dalle.

8. Le procédé selon la revendication 6, dans lequel l'étape de génération des valeurs de seuil pour les dalles selon une fonction ponctuelle pour la cellule ajustée à demi-teintes comprend les étapes consistent à:

transformer les valeurs de coordonnées de la cellule à demi-teintes dans un espace à coordonnées intermédiaires centré autour de la cellule à demi-teintes, l'espace de coordonnées s'étendant de - 1 à + 1; engendrer une valeur intermédiaire de seuil pour chaque emplacement de valeur de seuil des dalles selon la fonction ponctuelle et les valeurs transformées de coordonnées; et appliquer les valeurs de seuil intermédiaires à la plage d'intensités à simuler afin d'engendrer les valeurs de seuil.

9. Le procédé selon la revendication 8, dans lequel la fonction ponctuelle est:

$f(x, y) = 1 - x^2 - y^2$ , où x et y sont les valeurs de coordonnées transformées d'un pixel dans une cellule à demi-teintes par rapport au centre de la cellule à demi-teintes.

10. Le procédé selon la revendication 8, dans lequel l'étape de révélation des dalles de valeurs de seuil afin de former un réseau de seuil comprend les étapes consistent à:

déterminer la hauteur du réseau de seuil pour qu'elle soit égale au plus grand commun dénominateur de a et b; déterminer le contenu d'une première rangée du réseau de seuil en débutant à une rangée initiale d'une dalle initiale et en explorant la rangée de dalles, jusqu'à ce qu'une répétition de la dalle initiale soit atteinte, ledit contenu étant les valeurs de seuil de la dalle initiale et de dalles adjacentes avant la répétition de la dalle initiale; déterminer le contenu de rangées ultérieures du réseau de seuil qui sont des rangées ultérieures adjacentes à la rangée initiale de la dalle initiale, lesdites rangées ultérieures étant de la même largeur que la première rangée, le nombre de rangées étant déterminé par la hauteur du réseau de seuil.

11. Le procédé selon la revendication 1, qui comprend en outre l'étape consistant à récupérer du réseau de seuil une valeur de seuil pour restituer un pixel dont les coordonnées (x, y) sont (dx, dy) comprises les étapes consistant à:

déterminer à partir du réseau de seuil à l'emplacement (O, O) l'emplacement de dy par rapport au nombre de rangées de réseaux de seuil; régler un déport pour qu'il soit égal au nombre de valeurs de seuil dans une rangée de dalles, le numéro de la rangée de dalles étant égal à la hauteur du réseau de seuil, ledit déport indiquant le nombre de valeurs de seuil dont le réseau de seuil est décalé pour chaque rangée ultérieure de réseaux de seuil; engendrer un index (x, y) égal à (dx', dy') dans le réseau de seuil pour récupérer la valeur de seuil afin de restituer le pixel à coordonnées (dx, dy) en utilisant les équations suivantes:

$$dx' = (dx - n * \text{déport}) \bmod (w)$$

$$dy' = (dy - n * h)$$

où h est la hauteur du réseau de seuil, w est la largeur du réseau de seuil et mod est une fonction modulaire.

12. Le procédé selon la revendication 11, dans lequel n est déterminé selon l'équation suivante:

$$n = \text{INT}(dy / h), \text{ où INT est une fonction intégrale.}$$

13. Le procédé selon la revendication 11, dans lequel les valeurs de seuil correspondant à des pixels ultérieurs adjacents à (dx, dy) peuvent être indexées de façon incrémentale et être récupérées d'une manière séquentielle à partir de dx' et dy'.

14. Un appareil de génération d'images comprenant un système numérique à demi-teintes dans lequel une plage d'intensités d'images est simulée en actionnant des pixels sur un dispositif de sortie selon une séquence prédéterminée pour engendrer des images numériques, ledit dispositif de sortie comprenant un espace numérique d'affichage comprenant une matrice de pixels situés sur une grille X-Y, ledit appareil comprenant:

une cellule (300) à demi-teintes qui présente des dimensions et un angle initiaux par rapport à la grille de l'espace d'affichage, ladite cellule comprenant une matrice de valeurs de seuil ré-

férencées pour engendrer une image numérique à demi-teintes;  
un moyen d'ajustement pour ajuster la cellule à demi-teintes pour l'insérer dans la grille de l'espace d'affichage;

5

caractérisé par

un moyen de génération d'une case limite (325), orientée selon les axes x et y de la grille d'espace d'affichage, qui enveloppe la cellule ajustée (300) à demi-teintes;

10

un ensemble d'une ou plusieurs dalles (400, 405, 410) de valeurs de seuil, lesdites dalles étant engendrées selon les sommets de la cellule (300) à demi-teintes et de la case limite (325);

15

un moyen de génération de valeurs de seuil pour les dalles selon une fonction ponctuelle pour la cellule ajustée à demi-teintes;

20

un moyen de détermination d'une application de dalles recouvrant tout l'espace d'affichage;

un moyen de révélation des dalles de valeurs de seuil pour reconstruire un réseau de seuil de valeurs de seuil,

25

la hauteur dudit réseau de seuil étant égale au plus grand commun dénominateur de l'incrément d'axe x et de l'incrément d'axe y entre des sommets de la cellule à demi-teintes et sa largeur étant égale au nombre de valeurs de seuil qui sont contenues dans une séquence de valeurs de seuil, à la traversée d'une rangée de dalles contigües, avant que la séquence ne se répète; et

30

une mémoire pour mémoriser le réseau de seuil de valeurs de seuil, les dimensions de la mémoire requise pour mémoriser le réseau de seuil étant de façon significative moindre que la quantité de mémoire nécessaire pour mémoriser les dalles de valeurs de seuil et la cellule à demi-teintes;

35

grâce à quoi la quantité de mémoire requise pour mémoriser le réseau de seuil pour engendrer des images est réduite et le réseau de seuil est référencé pour extraire les valeurs de seuil utilisées pour engendrer une image numérique à demi-teintes.

40

45

15. L'appareil selon la revendication 14, dans lequel le moyen d'ajustement comprend:

50

un premier moyen d'arrondi pour localiser le pixel le plus proche d'un premier sommet de la cellule à demi-teintes afin de déterminer le premier sommet ajusté;

55

un deuxième moyen d'arrondi pour arrondir au pixel le plus voisin un deuxième sommet adjacent de la cellule à demi-teintes afin de déter-

miner le deuxième sommet ajusté, ledit deuxième sommet étant situé à une distance incrémentale correspondant à une valeur de fréquence de cellule, ladite valeur de fréquence de cellule comprenant un incrément initial d'axe X et un incrément initial d'axe Y, ledit incrément d'axe X et ledit incrément d'axe Y étant déterminés selon les équations suivantes:

$$a = \text{INT}[R_d \cos \Theta_d]$$

$$b = \text{INT}[R_d \sin \Theta_d]$$

où a représente l'incrément initial d'axe X, b représente l'incrément initial d'axe Y,  $R_d$  représente la longueur souhaitée d'un côté d'une cellule à demi-teintes et  $\Theta_d$  représente l'angle souhaité de la cellule à demi-teintes;

un troisième moyen d'arrondi pour arrondir au pixel le plus voisin le troisième sommet adjacent au deuxième sommet afin de déterminer le troisième sommet ajusté, ledit troisième sommet ajusté étant situé à une distance incrémentale du deuxième sommet ajusté correspondant à la valeur de fréquence de cellule, ledit incrément d'axe X étant égal à l'incrément initial d'axe Y et ledit incrément d'axe Y étant égal à l'incrément initial d'axe X;

un quatrième moyen d'arrondi pour arrondir au pixel le plus voisin le quatrième sommet, adjacent au troisième sommet et au premier sommet, afin de déterminer le quatrième sommet ajusté, ledit quatrième sommet ajusté étant situé à une distance incrémentale du troisième sommet ajusté correspondant à la valeur de fréquence de cellule, ledit incrément d'axe X étant égal à l'incrément initial d'axe X et ledit incrément d'axe Y étant égal à l'incrément initial d'axe Y;

grâce à quoi les dimensions de la cellule à demi-teintes sont déterminées par la valeur de fréquence de cellule et l'angle réel par rapport à l'espace d'affichage est déterminé en fonction de la  $\text{Tan } b/a$ , où  $\text{Tan}$  représente une fonction tangente.

16. L'appareil selon la revendication 14, dans lequel le moyen de génération d'une case limite (325) orientée selon les axes x et y de la grille d'espace d'affichage qui enveloppe la cellule ajustée à demi-teintes comprend un moyen de génération de lignes qui engendre, le long des axes de la grille d'affichage, des lignes d'une longueur  $a + b$ , lesdites lignes formant les côtés de la case limite, ledit moyen de génération de lignes traçant chacune desdites lignes pour qu'elle passe par un sommet de la cellule ajustée.

tée à demi-teintes et le long de l'axe qui est l'axe principal d'un côté correspondant de la cellule ajustée à demi-teintes.

17. L'appareil selon la revendication 14, dans lequel l'ensemble de dalles comprend:

une première dalle (400) de configuration rectangulaire dont une diagonale est égale à un premier côté de la cellule ajustée à demi-teintes, des sommets adjacents qui forment le premier côté formant les sommets côtés opposés de la première dalle;  
 si la première dalle ne couvre pas toute la case limite, ledit ensemble comprend en outre une deuxième dalle (405) de configuration rectangulaire dont une diagonale est égale à un deuxième côté adjacent de la cellule ajustée à demi-teintes, les sommets adjacents qui forment le deuxième côté formant les sommets opposés de la deuxième dalle;  
 si la première et la deuxième dalles ne couvrent pas ensemble toute la case limite, ledit ensemble comprend en outre une troisième dalle (410) de configuration rectangulaire dont un sommet est commun avec la première dalle et un sommet est commun avec la deuxième dalle, un troisième sommet étant colinéaire avec le premier et le deuxième sommets de la cellule ajustée à demi-teintes et le quatrième sommet étant colinéaire avec le premier sommet de la cellule à demi-teintes et le troisième sommet de la cellule à demi-teintes.

18. L'appareil selon la revendication 14, dans lequel le moyen de génération de valeurs de seuil pour les dalles comprend:

un espace de coordonnées intermédiaires centré autour de la cellule à demi-teintes, l'espace s'étendant de - 1 à + 1;  
 un moyen de transformation pour transformer les valeurs de coordonnées de la cellule à demi-teintes dans l'espace à coordonnées intermédiaires;  
 un moyen de génération d'une valeur intermédiaire de seuil pour chaque emplacement de valeur de seuil des dalles selon la fonction ponctuelle et les valeurs transformées de coordonnées; et  
 un moyen d'application des valeurs de seuil intermédiaires à la plage d'intensités à simuler afin d'engendrer les valeurs de seuil;  
 un moyen de remplacement pour mémoriser dans les dalles les intensités appliquées aux valeurs de seuil intermédiaires.

19. L'appareil selon la revendication 18, dans lequel la

fonction ponctuelle est:

$$f(x, y) = 1 - x^2 - y^2, \text{ où } x \text{ et } y \text{ sont les valeurs de coordonnées transformées d'un pixel dans une cellule à demi-teintes par rapport au centre de la cellule à demi-teintes.}$$

20. L'appareil selon la revendication 14, dans lequel le moyen de développement des dalles de valeurs de seuil afin de former un réseau de seuil comprend les étapes consistant à:

un moyen de détermination de la hauteur du réseau de seuil pour qu'elle soit égale au plus grand commun dénominateur de a et b;  
 un moyen de détermination du contenu d'une première rangée du réseau de seuil en débutant à une rangée initiale d'une dalle initiale et en explorant la rangée de dalles, jusqu'à ce qu'une répétition de la dalle initiale soit atteinte, ledit contenu étant les valeurs de seuil de la dalle initiale et de dalles adjacentes avant la répétition de la dalle initiale;  
 un moyen de détermination du contenu de rangées ultérieures du réseau de seuil qui sont des rangées ultérieures adjacentes à la rangée initiale de la dalle initiale, lesdites rangées ultérieures étant de la même largeur que la première rangée, le nombre de rangées étant déterminé par la hauteur du réseau de seuil.

21. L'appareil selon la revendication 14, qui comprend en outre un moyen d'accès pour récupérer, du réseau de seuil, une valeur de seuil pour restituer un pixel dont les coordonnées (x, y) sont (dx, dy) comprenant:

un moyen de détermination, à partir du réseau de seuil à l'emplacement (O, O), de l'emplacement de dy par rapport au nombre de rangées de réseaux de seuil;  
 un moyen de réglage d'un déport pour qu'il soit égal au nombre des valeurs de seuil dans une rangée de dalles, le nombre des rangées de dalles étant égal à la hauteur du réseau de seuil, ledit déport indiquant le nombre de valeurs de seuil dont le réseau de seuil est décalé pour chaque rangée ultérieure de réseaux de seuil;  
 un moyen de génération d'un index (x, y) égal à (dx', dy') dans le réseau de seuil pour récupérer la valeur de seuil afin de restituer le pixel à coordonnées (dx, dy) en utilisant les équations suivantes:

$$dx' = (dx - n * \text{déport}) \bmod (w)$$

$$dy' = (dy - n * h)$$

où  $h$  est la hauteur du réseau de seuil,  $w$  est la largeur du réseau de seuil et  $mod$  est une fonction modulaire. 5

10

15

20

25

30

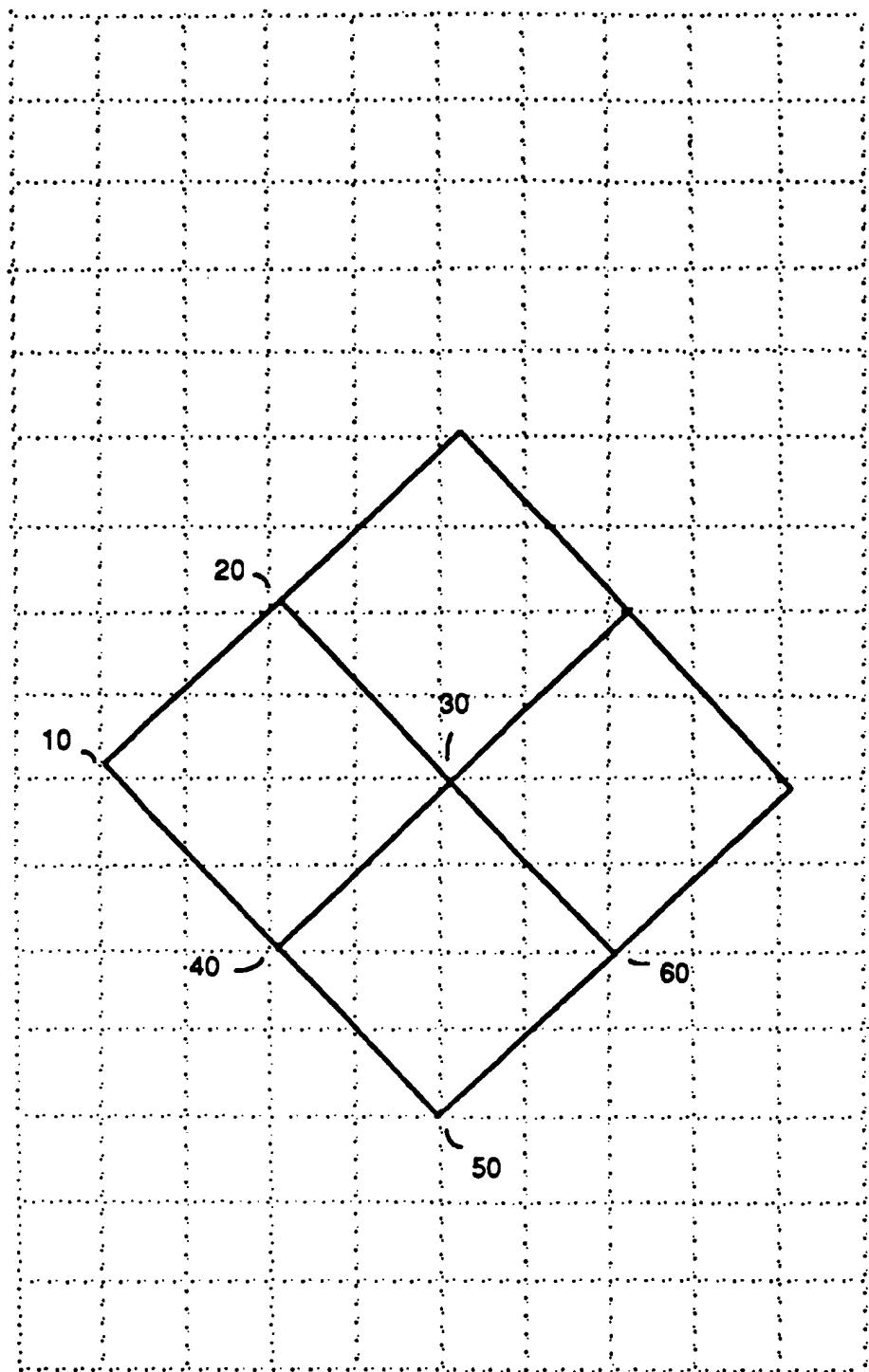
35

40

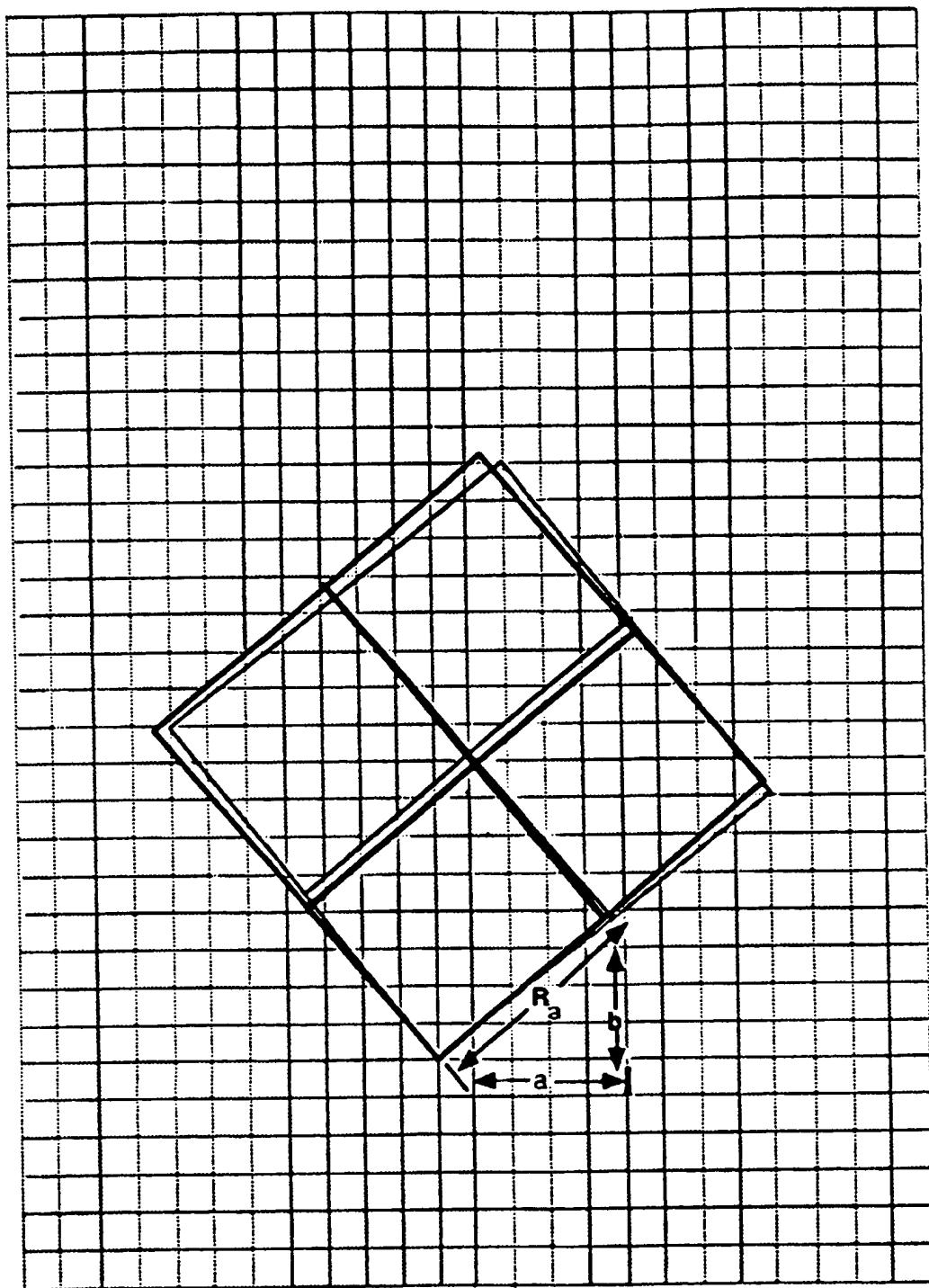
45

50

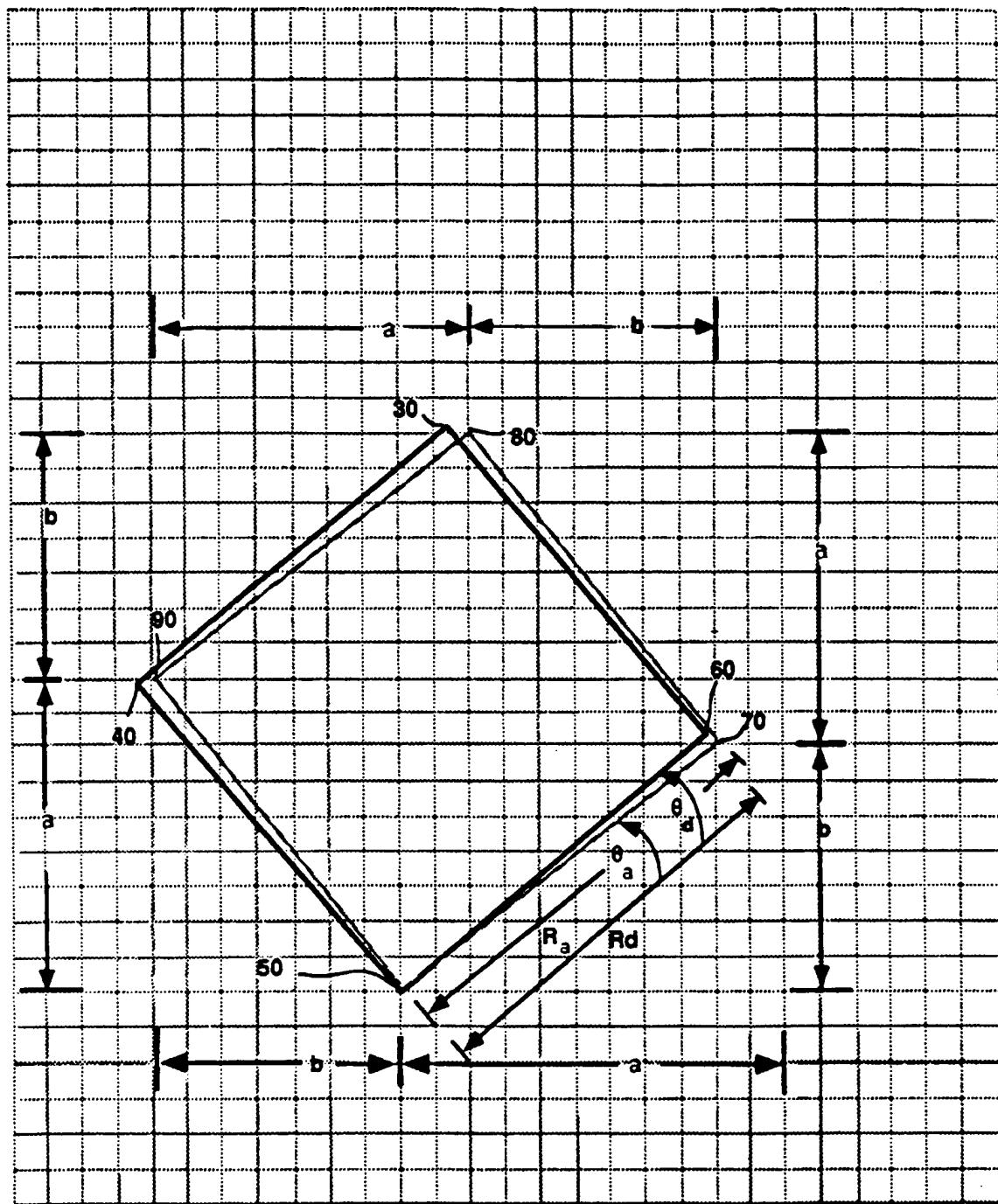
55



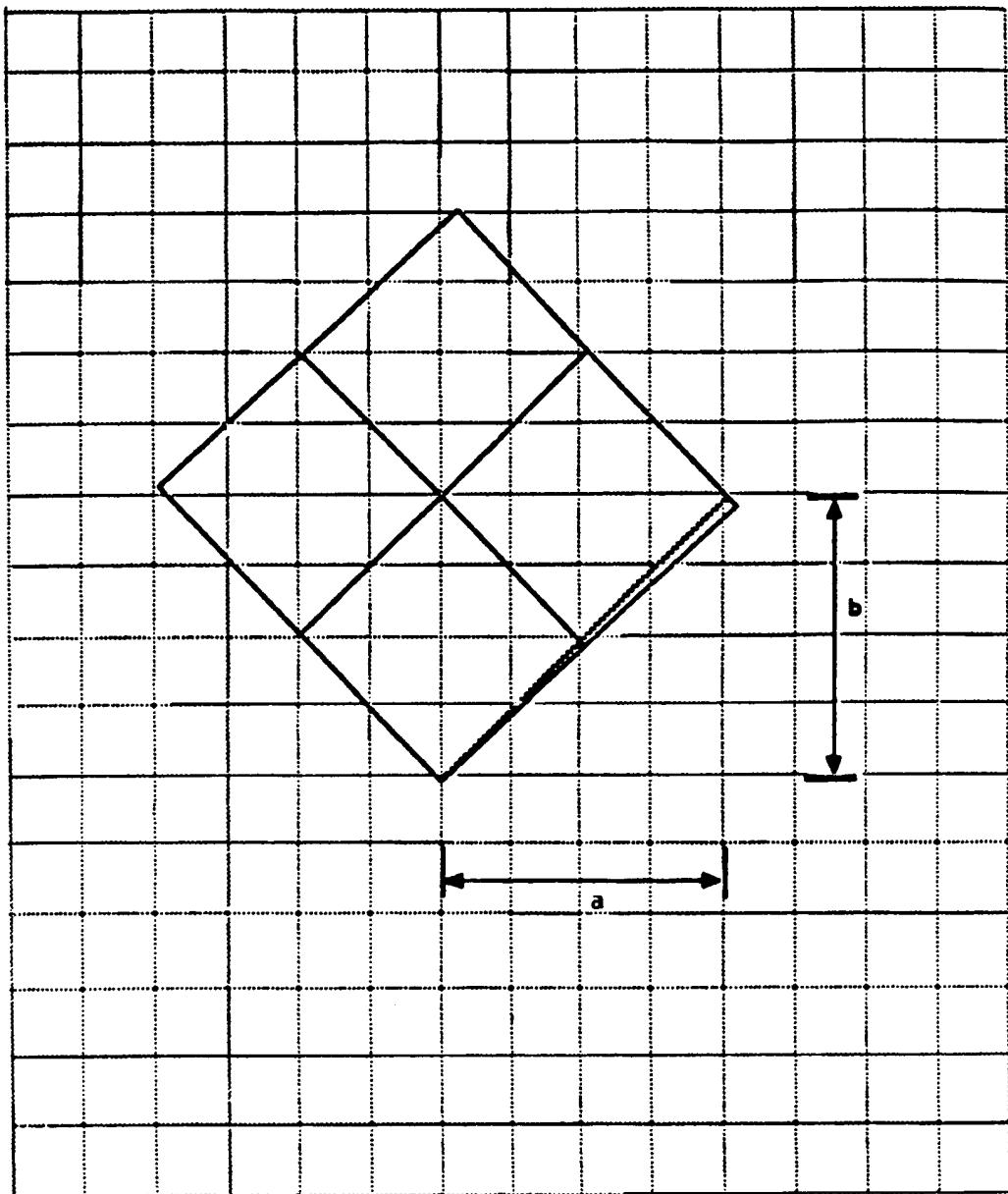
**Figure 1**



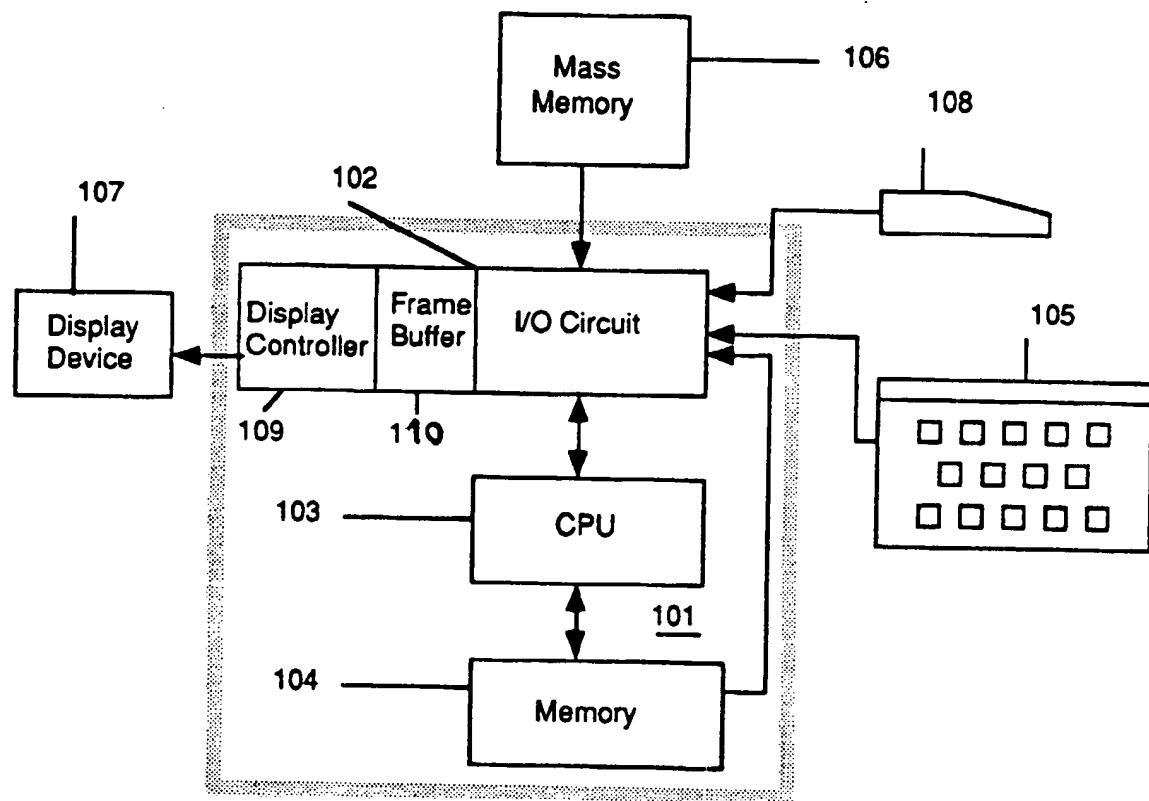
**Figure 2b**



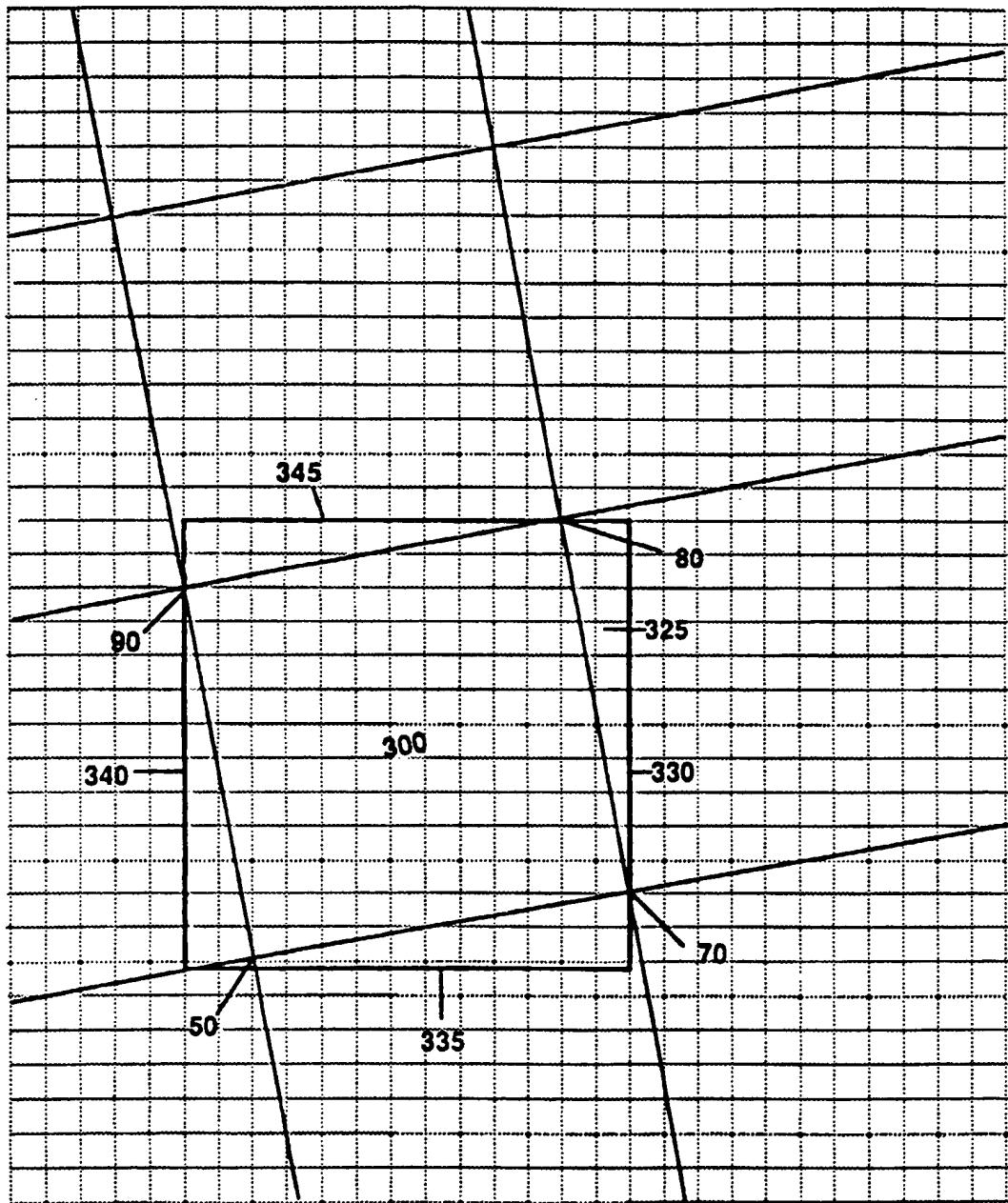
**Figure 2a**



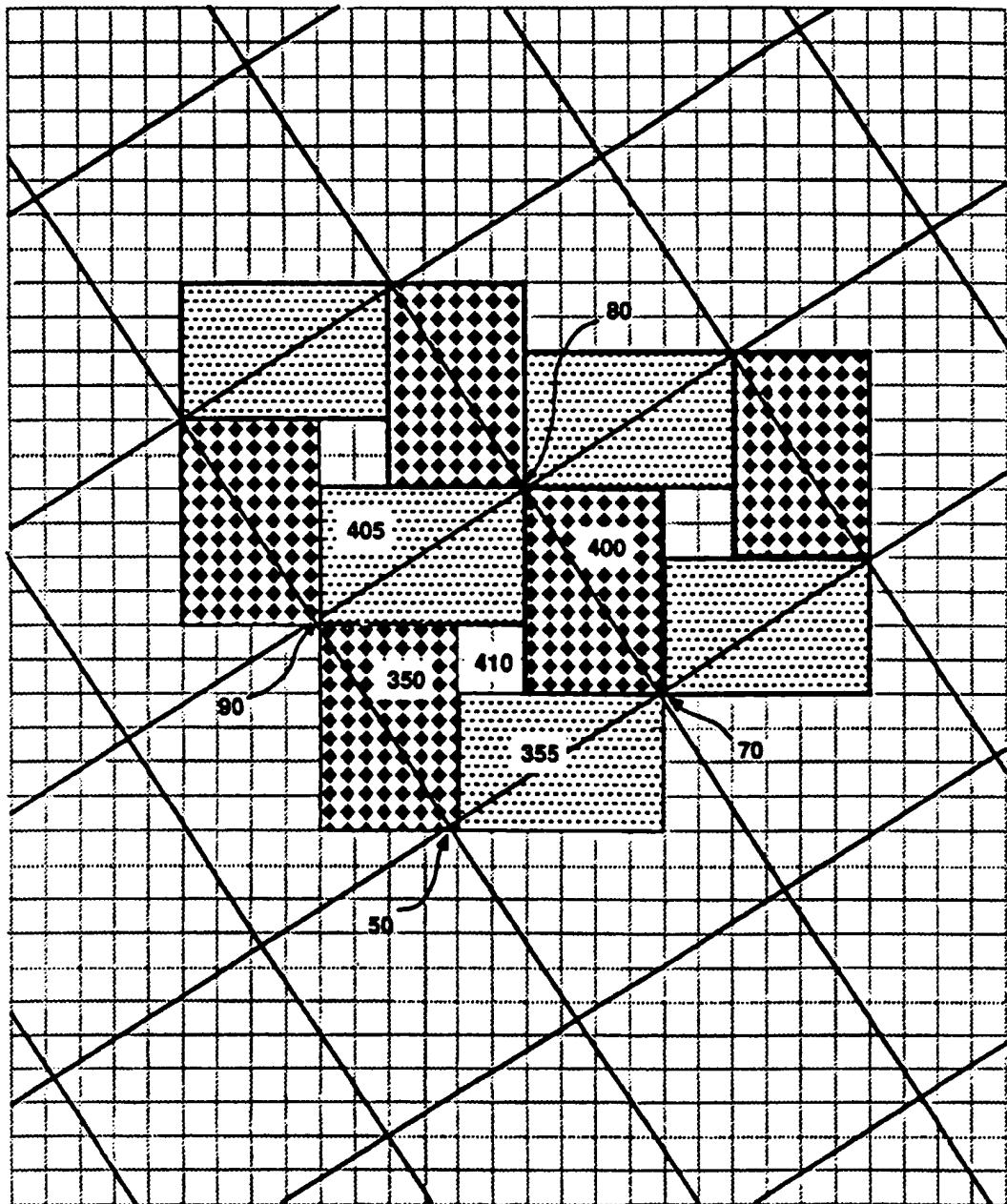
**Figure 3**



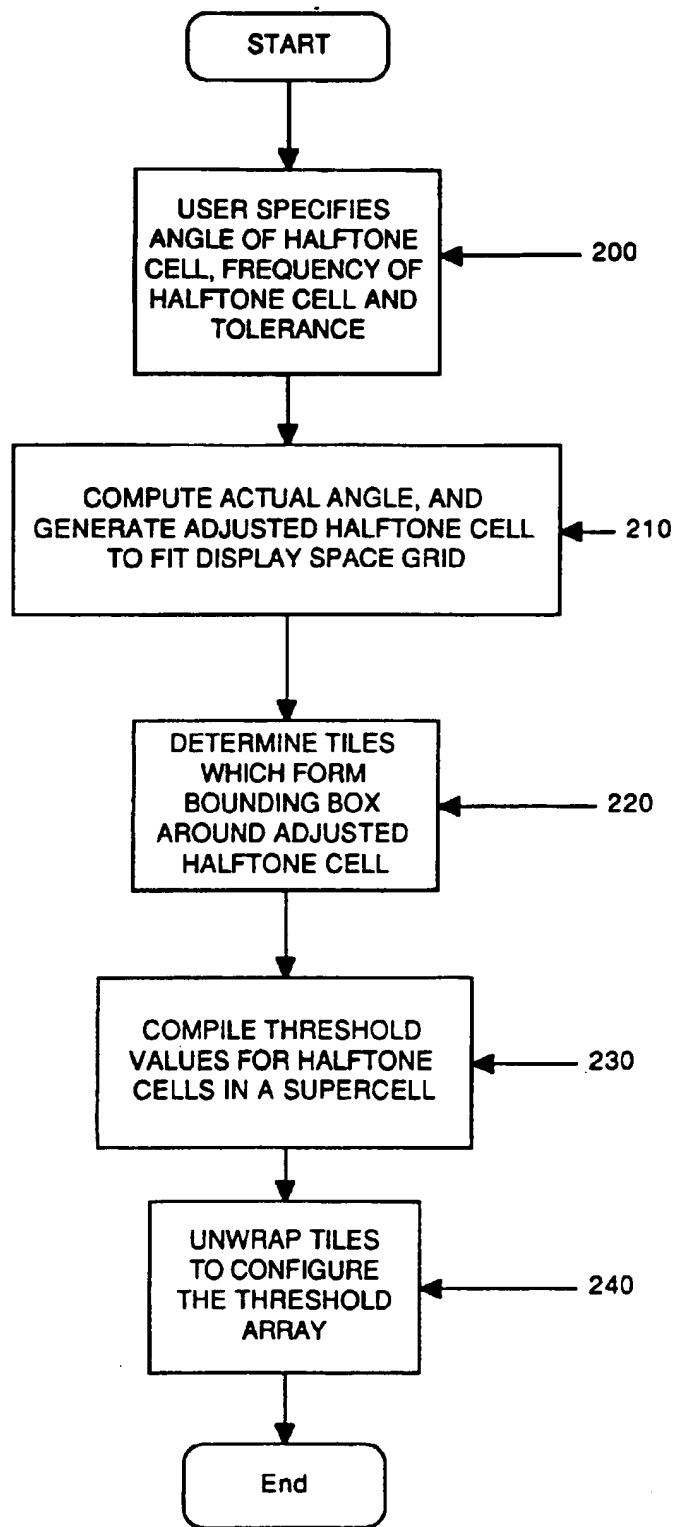
**Figure 4**



**Figure 5a**



**Figure 5b**



**Figure 6a**

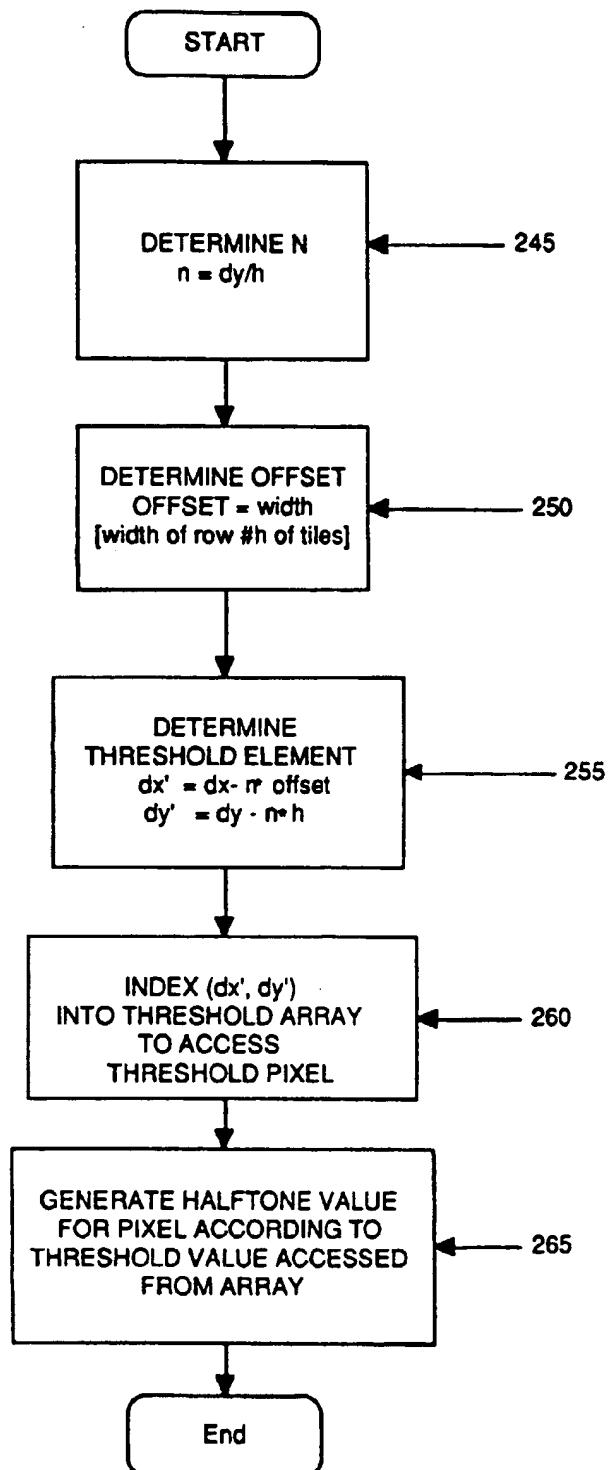


Figure 6b

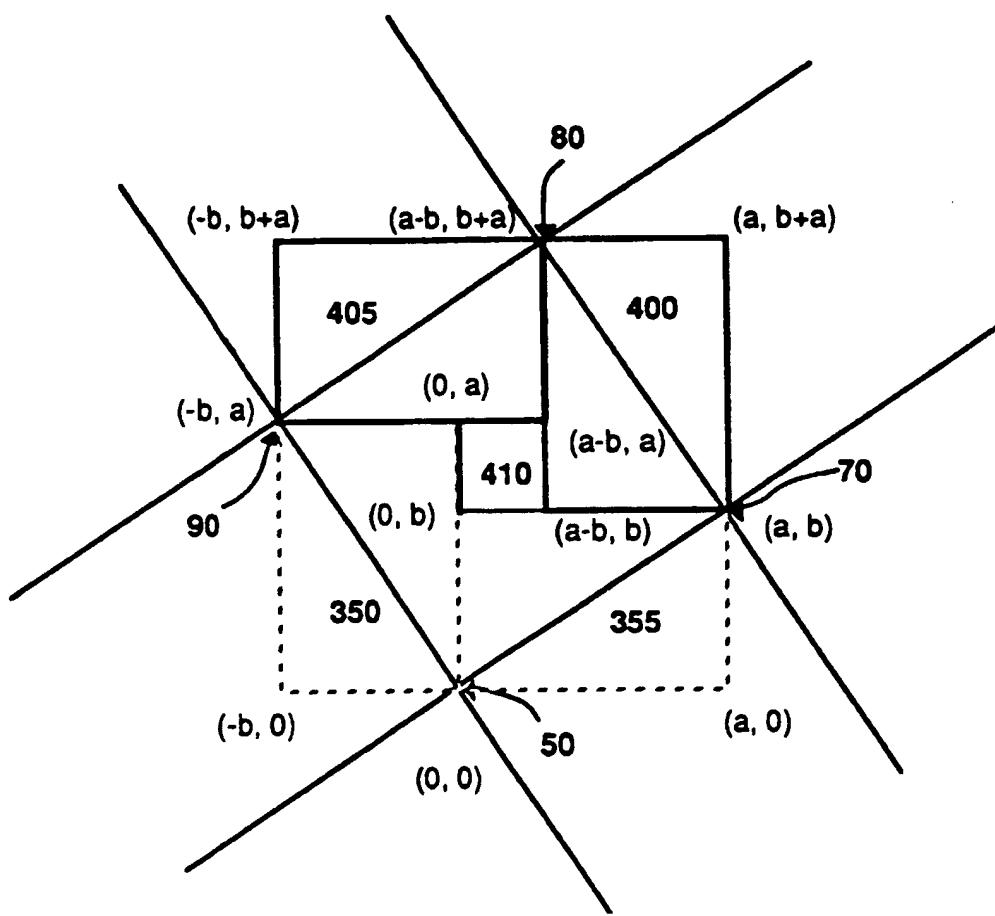
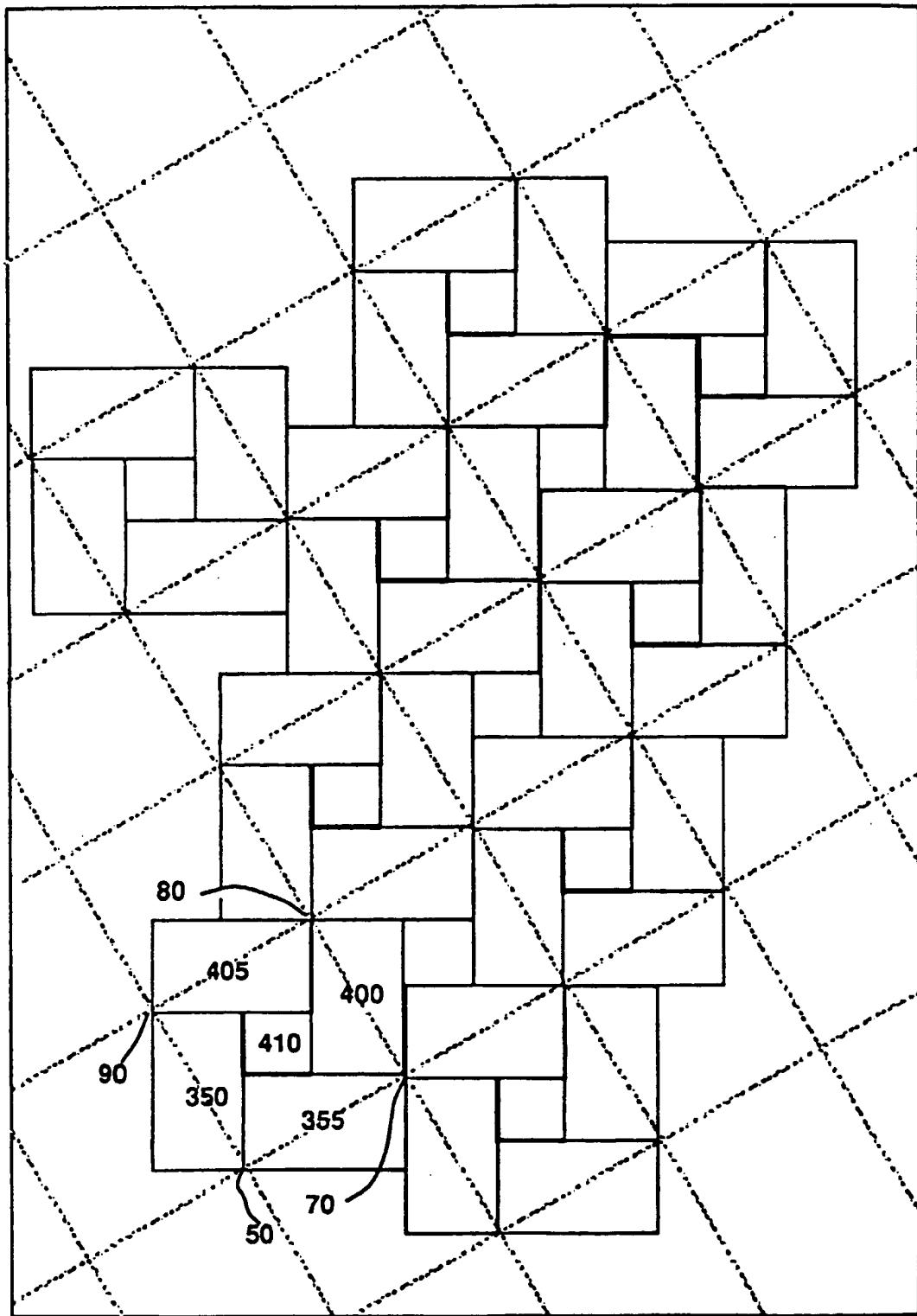
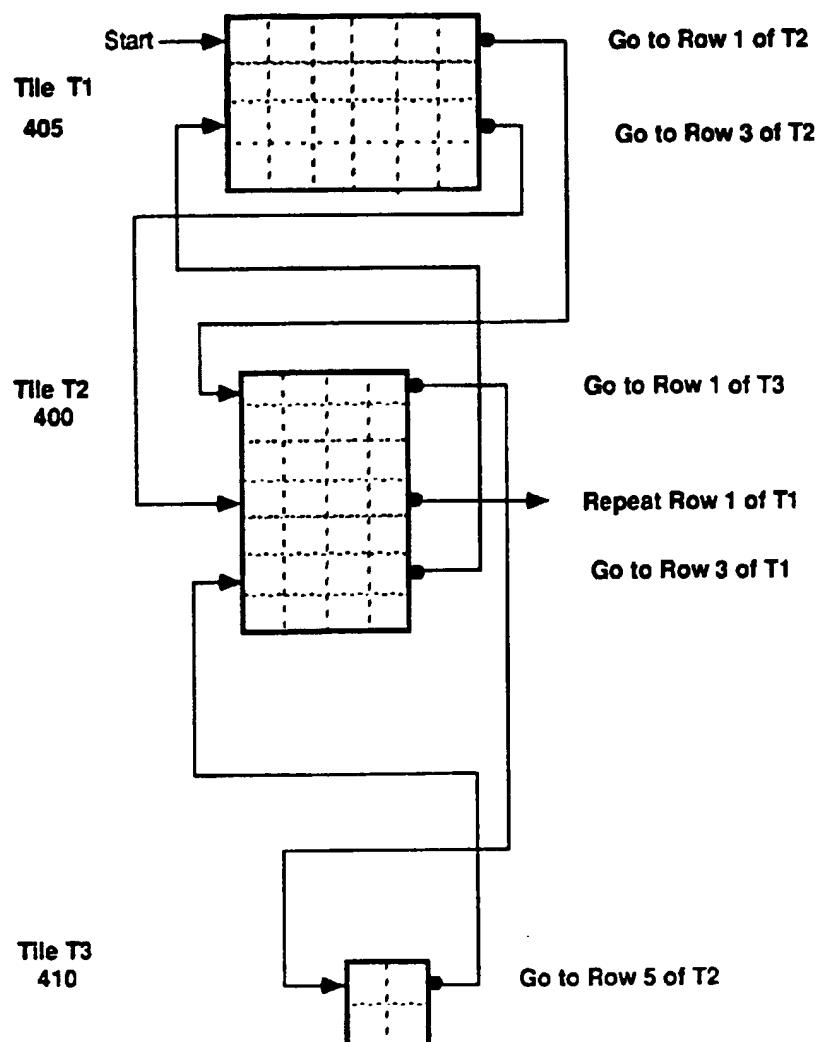
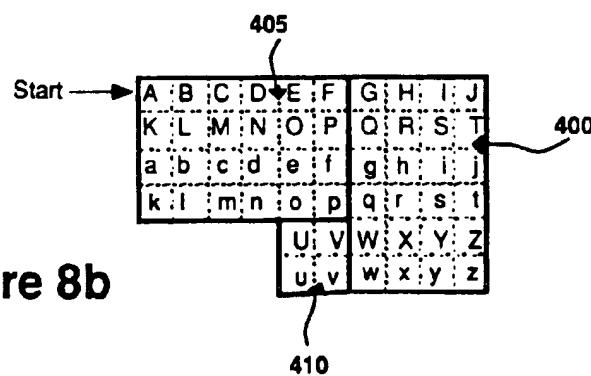
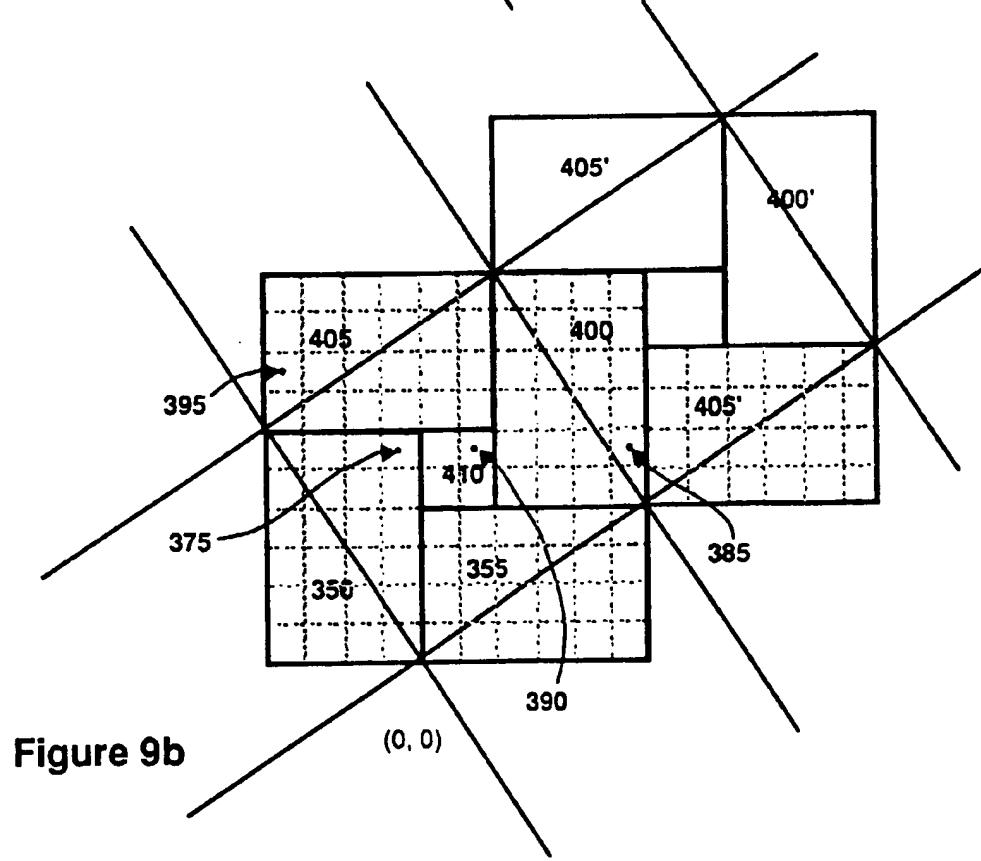
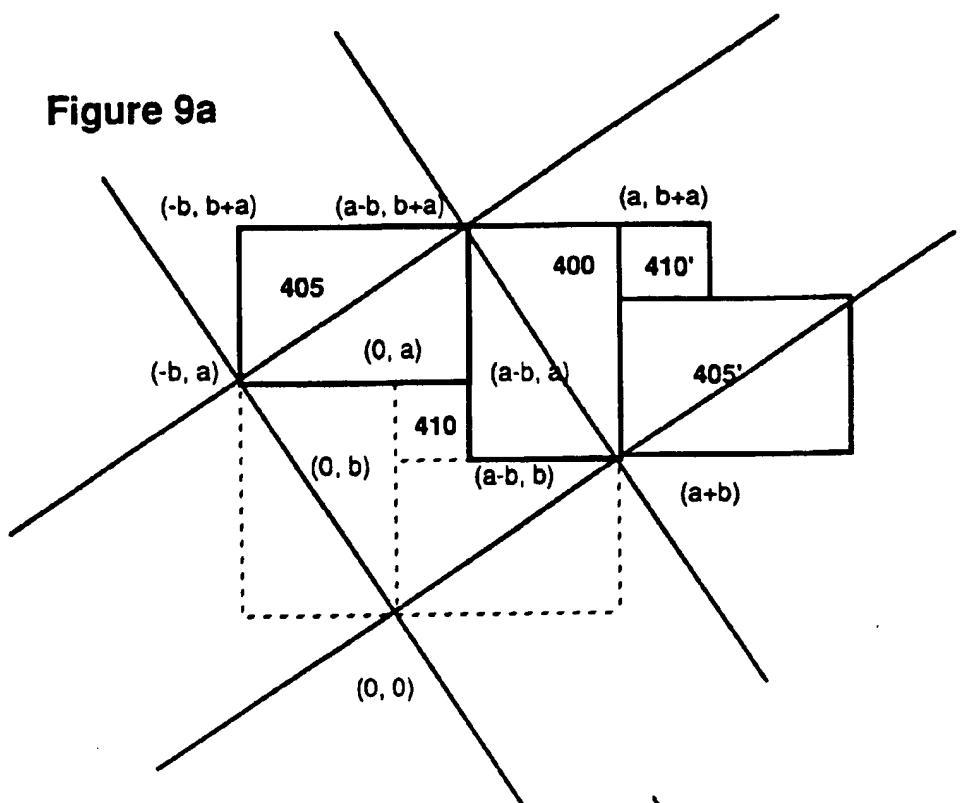


Figure 7a



**Figure 7b**

**Figure 8a****Figure 8b**

**Figure 9a**

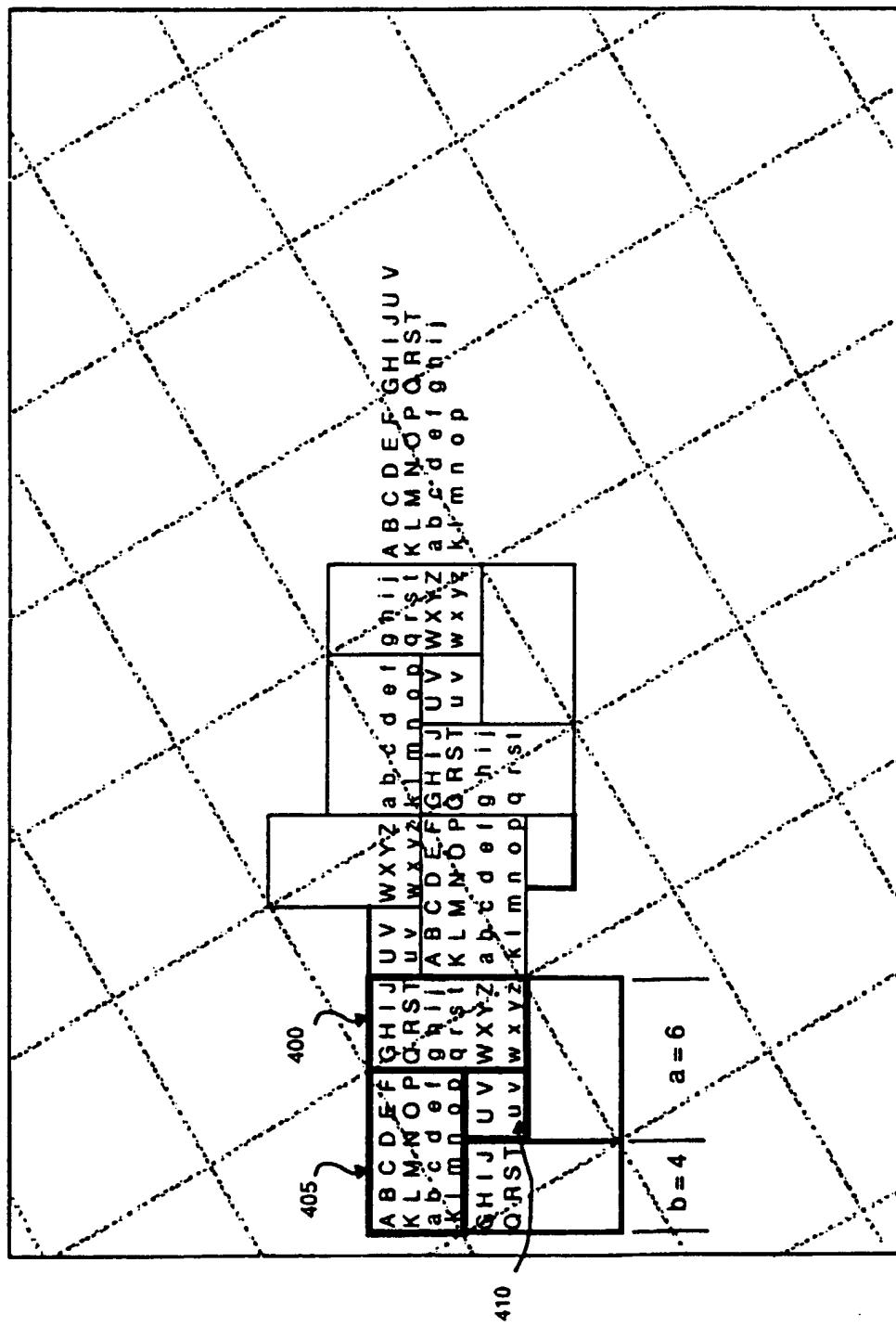
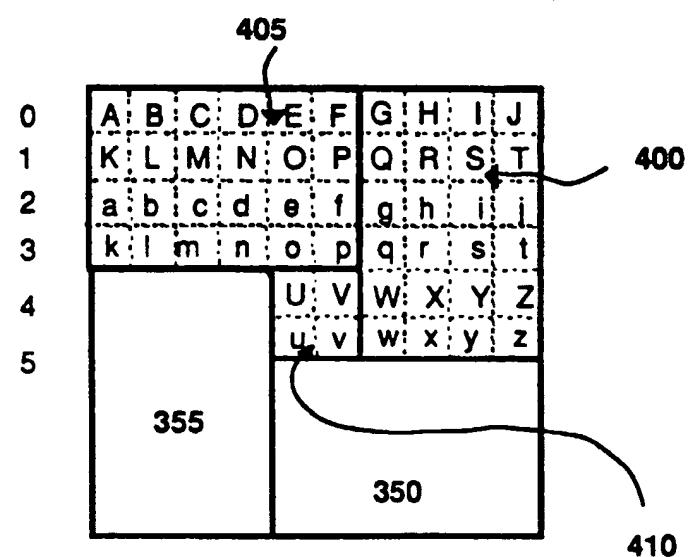


Figure 10a



**Figure 10 b**

$(0+4) \bmod 6 = 4$	$(4+4) \bmod 6 = 2$	$(2+4) \bmod 6 = 0$
A B C D E F G H I J I U V W X Y Z	a b c d e f g h i j	A B C D
0	4	2
		0
$(1+4) \bmod 6 = 5$	$(5+4) \bmod 6 = 3$	$(3+4) \bmod 6 = 1$
K L M N O P Q R S T	u v w x y z	k l m n o p q r s t
1	5	3
		1

Figure 10c

$$W = 10 + 6 + 10 = 26$$

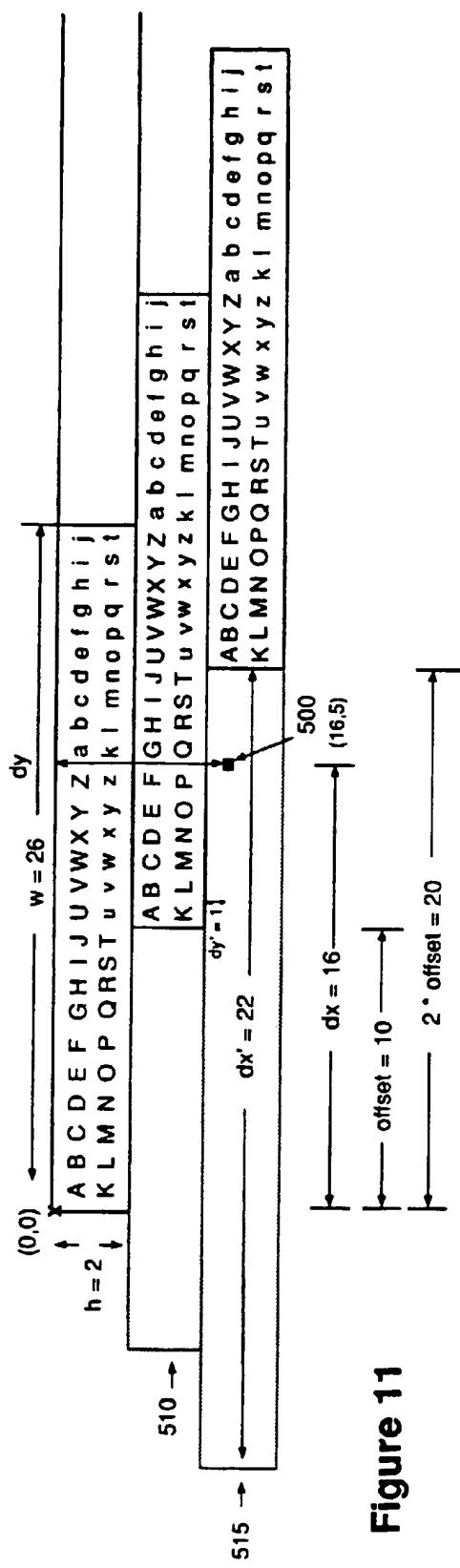
$h = 2$	0	4	2
	1	5	3
	10	6	10

**Figure 10d**

$w = 26$

$h = 2$	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">↑</td> <td style="width: 80%; text-align: center;">A B C D E F G H I J U V W X Y Z a b c d e f g h i j</td> <td style="width: 10%;">↓</td> </tr> <tr> <td>↓</td> <td style="text-align: center;">K L M N O P Q R S T u v w x y z k l m n o p q r s t</td> <td></td> </tr> </table>	↑	A B C D E F G H I J U V W X Y Z a b c d e f g h i j	↓	↓	K L M N O P Q R S T u v w x y z k l m n o p q r s t		$h = 2$
↑	A B C D E F G H I J U V W X Y Z a b c d e f g h i j	↓						
↓	K L M N O P Q R S T u v w x y z k l m n o p q r s t							

**Figure 10e**

**Figure 11**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**